



Anabela Carvalho Alves **Projecto Dinâmico de Sistemas de Produção  
Orientados ao Produto**

UMinho|2007



**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

Anabela Carvalho Alves

**Projecto Dinâmico de Sistemas de Produção  
Orientados ao Produto**

Agosto de 2007



**Universidade do Minho**

Escola de Engenharia

Anabela Carvalho Alves

**Projecto Dinâmico de Sistemas de Produção  
Orientados ao Produto**

Tese de Doutoramento em Engenharia de  
Produção e Sistemas

Trabalho efectuado sob a orientação do  
**Professor Doutor Sílvio do Carmo Silva**

Agosto de 2007

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA TESE,  
APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO  
ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE.

## AGRADECIMENTOS

Uma tese de doutoramento é um projecto que pela sua natureza implica meditação e solidão para as reflexões tão necessárias e a criatividade fluir sem manipulações ou influências. Se numa parte do tempo, isto deve ser assim, durante o tempo todo seria difícil chegar ao fim pois comunicar, discutir, confrontar ideias e, simplesmente, conversar com outras pessoas é absolutamente necessário não só para construir e melhorar o trabalho mas também para receber apoio e incentivo nos momentos mais difíceis e partilhar os momentos mais felizes. Estes agradecimentos dirigem-se a essas pessoas.

Ao meu orientador científico, o Professor Carmo Silva, cujo contributo científico se reflecte em todos os capítulos da tese através da supervisão ao longo do trabalho.

Aos meus alunos, Ana Silva e Miguel Costa, pelo empenho e competência demonstrado ao longo de um projecto de estágio que foi para além disso.

Aos meus colegas de grupo, Rui Lima, Rui Sousa, Paulo Martins, Dinis Carvalho, Francisco Moreira, Leonilde Varela e Goran Putnik, pelas conversas construtivas e por terem assegurado a carga docente que a mim competia. Aos outros colegas, docentes, e não docentes, do departamento de Produção e Sistemas pelo apoio e disponibilidade de meios e à Universidade do Minho por proporcionar as condições para a realização deste trabalho.

Às minhas colegas, Isabel, Diana e Maria José, pelo apoio e incentivo.

Aos meus colegas brasileiros, Aldemar Santos e António Pithon, pelo encorajamento e espírito optimista que me inculcaram.

À empresa Varela e Macedo, nas pessoas do Sr. Varela e do Eng.º Pedro Lopes por permitirem a utilização dos dados para o projecto.

E, finalmente, um agradecimento especial à minha família, em particular à minha mãe, à minha filha, ao meu marido, às minhas irmãs e aos meus irmãos, aos meus sobrinhos e aos meus cunhados e cunhadas pela paciência, compreensão, apoio, carinho e incentivo que sempre me deram durante a realização do trabalho.



## RESUMO

*Leanness* e agilidade são necessidades importantes das empresas de manufactura na era actual da economia global num mercado intensamente concorrencial, de grande variabilidade e perturbação. De uma forma resumida pode-se dizer que as respostas estratégicas a estas necessidades, no âmbito da produção, são a Produção *Lean* e a Produção Ágil. A primeira aponta para que o sistema seja convenientemente ajustado às necessidades de produção, numa lógica sincronizada de produção desde a transformação das matérias primas até à distribuição do produto ao cliente, evitando toda a espécie de desperdícios e, portanto, explorando o que se tem designado por produção JIT. A Produção Ágil requer que os sistemas de produção tenham agilidade para rapidamente responderem às variações das necessidades de produção resultantes das variações da procura, i.e. quantidade e variedade de produto. Aparentemente ambas as estratégias confluem num objectivo comum, nomeadamente a resposta rápida da produção às variações da procura através de um ajustamento dinâmico e adequado à variação consequente das necessidades de produção.

Nesta tese propõe-se que esse ajustamento seja realizado recorrendo aos Sistemas de Produção Orientados ao Produto (SPOP) que, no essencial, podem ser definidos como sistemas reconfiguráveis formados por conjuntos interligados e complementares de células de produção reconfiguráveis, destinados a, de forma coordenada e sincronizada, fabricar os componentes de um produto ou família de produtos similares, e realizar a sua montagem para entrega rápida ao cliente. A agilidade resulta do requisito de reconfiguração dinâmica dos SPOP face à variação da procura.

Devido à complexidade de projecto de SPOP, propõe-se uma metodologia de apoio ao seu projecto e reconfiguração, designada de metodologia GCD por abranger três níveis de concepção, nomeadamente o estratégico, designado de Genérico, o Conceptual e o Detalhado. A metodologia guia o projectista através destas três fases, enquadradas por um conjunto de actividades de projecto sucessivas e interrelacionadas, e sugerindo métodos que podem ser usados para levar a cabo cada actividade. Uma recolha importante de métodos é feita neste contexto. Demonstra-se a utilização da metodologia através de um exemplo de aplicação de projecto de SPOP.

Este trabalho baseou-se numa variedade de conceitos conhecidos da literatura e outros propostos e inerentes à metodologia GCD. Portanto uma contribuição ontológica no domínio da investigação é também apresentada sendo de realçar os conceitos de configurações conceptuais, configurações de postos de trabalho, configurações operacionais e modos operatórios de células de produção.

No sentido de facilitar a utilização da metodologia é proposto um Sistema assistido por computador de Apoio ao Projecto de SPOP, o SAP\_SPOP, e é dada uma contribuição para o desenvolvimento de um seu protótipo. Este sistema está estruturado em três componentes fundamentais: uma base de dados, uma base de métodos e um motor de projecto, designado de SPOP designer. Este inclui um módulo facilitador da interacção entre os elementos do sistema, e o utilizador com as bases de dados e de métodos, facilitando também o acesso a métodos que podem estar residentes na máquina, i.e. computador, do sistema ou distribuídos por vários servidores e acessíveis via Internet ou intranets. Sempre que haja necessidade de projectar SPOP e obter rapidamente soluções de configurações de SPOP o sistema poderá ser usado promovendo o processo de projecto e reconfiguração frequente do SPOP para melhorar a produtividade de empresas industriais através de melhores sistemas de produção.

## **ABSTRACT**

Leanness and agility are important requirements of manufacturing companies in the actual era of global economy and highly competitive variable markets. In a simplified view, it may be said that Lean Production and Agile Production are the strategic answers to these requirements. The first requires a good production systems fit to production requirements from raw materials to finished product delivery, aiming at minimizing waste of every kind and therefore exploring what has been known as JIT Production. The second calls for production systems agility for adaptation to variable production requirements derived from continuous changing on product demand variety and quantity. Apparently, both strategies focus on a common objective, namely that of quick manufacturing response to variable market requirements through a dynamic and suitable fit of the manufacturing system to the corresponding changing production requirements.

This thesis suggests that such fit can be achieved through Product Oriented Manufacturing Systems (POMS) which in simple terms may be defined as reconfigurable manufacturing systems formed from sets of interlinked reconfigurable manufacturing cells for coordinated and synchronized fabrication of components and assembly of a product or a family of similar products to quick delivery to customers.

Due to POMS design complexity it is proposed a design and reconfiguration methodology for POMS, referred as the GCD methodology because it deals with system design at three planning levels or phases, namely the strategic, referred as Generic, the Conceptual and the Detailed. The methodology guides the designer through these three phases, involving a set of interlinked successive design activities suggesting methods that may be used by a POMS designer to carry out each design activity. A set of important methods were collected for this. The use of the methodology is demonstrated through a POMS design application example.

This work had to draw upon important concepts established in the literature and also put forward new ones, contributing, this way, for the ontological development of the scientific domain of the investigation. In particular it must be emphasized the concepts of conceptual and operational cells and also those of cell operating modes.



In order to give a better utility to the methodology and facilitate de POMS design task a computer aided design systems for POMS, the CADS\_POMS, has been proposed and specified, and a prototype of it developed. The system is structured around three main components a database, a methods' design base and the SPOP designer. This intervenes in the interaction between CADS-POMS design components and is fundamental for design activities too be carried. The methods used for supporting the design activities can be either resident in the CADS\_POMS or accessed, via Internet for example, from distributed servers where they are implemented. Whenever there is a need for POMS design and quickly obtain POMS configurations solutions the system can be used. This promotes the frequent POMS design and reconfiguration process in order to improve the productivity of the industrial companies through better production systems.

# ÍNDICE

<b>AGRADECIMENTOS .....</b>	<b>iii</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE.....</b>	<b>ix</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>xiii</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS.....</b>	<b>xv</b>
<b>LISTA DE ACRÓNIMOS E SIGLAS .....</b>	<b>xvii</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. CONTEXTO DE INVESTIGAÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. MOTIVAÇÃO E QUESTÕES DE INVESTIGAÇÃO .....</b>	<b>2</b>
<b>1.3. OBJECTIVOS DO TRABALHO.....</b>	<b>4</b>
<b>1.4. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO .....</b>	<b>6</b>
<b>2. PARADIGMAS E ORGANIZAÇÃO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>2.1. PARADIGMAS DE PRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<i>2.1.1. Produção em massa .....</i>	<i>9</i>
<i>2.1.2. Produção repetitiva .....</i>	<i>10</i>
<i>2.1.3. Produção não repetitiva .....</i>	<i>11</i>
<b>2.2. ABORDAGENS ORGANIZACIONAIS.....</b>	<b>14</b>
<i>2.2.1. Produção em massa.....</i>	<i>14</i>
<i>2.2.2. Produção em lotes .....</i>	<i>15</i>
<i>2.2.3. Produção unitária.....</i>	<i>16</i>
<i>2.2.4. Produção magra .....</i>	<i>16</i>
<i>2.2.5. Produção ágil .....</i>	<i>18</i>
<b>2.3. MODELOS CONCEPTUAIS DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO .....</b>	<b>21</b>
<b>2.4. CONFIGURAÇÕES GENÉRICAS DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO.....</b>	<b>28</b>
<i>2.4.1. Sistemas de Produção Orientados à Função (SPOF).....</i>	<i>29</i>
<i>2.4.2. Sistemas de Produção Orientados ao Produto (SPOP).....</i>	<i>32</i>
<i>2.4.3. Abordagens à formação de células e SPOP .....</i>	<i>34</i>
<b>3. SISTEMAS DE PRODUÇÃO ORIENTADOS AO PRODUTO (SPOP) .....</b>	<b>37</b>
<b>3.1. DEFINIÇÃO.....</b>	<b>37</b>
<b>3.2. FACILITADORES PARA O PROJECTO DE SPOP .....</b>	<b>38</b>
<i>3.2.1. Normalização dos componentes e dos processos.....</i>	<i>40</i>

3.2.2. Modularização dos componentes e produtos, processos e sistemas .....	41
3.2.3. Reconfigurabilidade.....	45
3.2.4. Virtualidade e distributividade.....	46
3.2.5. Competências das pessoas .....	47
3.2.6. Integração e coordenação.....	48
<b>3.3. CONFIGURAÇÕES CONCEPTUAIS DE SPOP .....</b>	<b>50</b>
3.3.1. Células básicas (CB).....	50
3.3.2. Células não básicas (CNB).....	51
3.3.3. Configuração e flexibilização dos postos de trabalho .....	53
<b>3.4. CONFIGURAÇÕES OPERACIONAIS DE SPOP .....</b>	<b>55</b>
3.4.1. Células JIT.....	55
3.4.1.1. Toyota sewing system (TSS).....	58
3.4.1.2. Modular manufacturing system (MMS).....	59
3.4.1.3. Flexible work group (FWG).....	60
3.4.1.4. Unit production system (UPS) .....	60
3.4.1.5. One-Piece Flow (OPF).....	61
3.4.1.6. Linked-Cellular Manufacturing System (L-CMS) .....	62
3.4.1.7. Quick response sewing system (QRSS) .....	63
3.4.2. Células de resposta rápida.....	64
3.4.3. Células de produção flexível.....	65
3.4.4. Células virtuais .....	66
3.4.5. Células ágeis.....	70
<b>3.5. MODOS OPERATÓRIOS DE CÉLULAS DE PRODUÇÃO .....</b>	<b>70</b>
3.5.1. Working balance .....	72
3.5.2. Rabbit chase.....	75
3.5.3. Toyota sewing system.....	76
3.5.4. Baton-touch.....	78
3.5.5. Bucket-brigades .....	78
3.5.6. Modos operatórios e trabalho em equipa .....	80
<b>3.6. VANTAGENS/DESVANTAGENS DE CÉLULAS DE PRODUÇÃO .....</b>	<b>84</b>
<b>3.7. APLICAÇÃO DE CÉLULAS DE PRODUÇÃO .....</b>	<b>88</b>
<b>4. METODOLOGIAS DE PROJECTO DE SISTEMAS.....</b>	<b>93</b>
<b>4.1. METODOLOGIAS DE PROJECTO DE CONFIGURAÇÕES DE SPOP.....</b>	<b>96</b>
4.1.1. Metodologias de melhoramento.....	97

4.1.1.1. Metodologia PFA.....	97
4.1.1.2. Metodologia TPS.....	98
4.1.1.3. Metodologia de Black.....	99
4.1.1.4. Metodologia de Suri.....	100
4.1.1.5. Metodologia de Kulak .....	101
<i>4.1.2. Metodologias de construção .....</i>	<i>101</i>
4.1.2.1. Metodologia de Ingersoll Engineers .....	101
4.1.2.2. Metodologia de Massay .....	102
4.1.2.3. Metodologia de Babic.....	103
4.1.2.4. Metodologia de Silveira.....	103
4.1.2.5. Metodologia de Ratchev .....	103
<b>4.2. CONSIDERAÇÕES ADICIONAIS E SÍNTESE.....</b>	<b>105</b>
<b>5. METODOLOGIA GCD PARA O PROJECTO DE SPOP.....</b>	<b>107</b>
<b>5.1. PROJECTO GENÉRICO (A1).....</b>	<b>110</b>
5.1.1. <i>Planeamento estratégico da produção (A11) .....</i>	<i>112</i>
5.1.2. <i>Análise da empresa e do mercado (A12) .....</i>	<i>117</i>
5.1.2.1. Produtos e recursos.....	117
5.1.2.2. Operações e processos de fabrico .....	118
5.1.2.3. Sistema de produção .....	122
5.1.2.4. Estrutura de mercado .....	124
5.1.3. <i>Seleccção da configuração genérica do sistema de produção (A13) .....</i>	<i>125</i>
<b>5.2. PROJECTO CONCEPTUAL (A2).....</b>	<b>132</b>
5.2.1. <i>Seleccção da configuração conceptual (A21).....</i>	<i>133</i>
5.2.2. <i>Seleccção de postos de trabalho (A22).....</i>	<i>143</i>
<b>5.3. PROJECTO DETALHADO (A3) .....</b>	<b>146</b>
5.3.1. <i>Formação de famílias de produtos (A31) .....</i>	<i>146</i>
5.3.2. <i>Instanciação das células conceptuais (A32).....</i>	<i>150</i>
5.3.3. <i>Instanciação de postos de trabalho (A33) .....</i>	<i>160</i>
5.3.4. <i>Organização intracelular e controlo de cada célula (A34) .....</i>	<i>169</i>
5.3.5. <i>Arranjo integrado do SPOP (A35).....</i>	<i>180</i>
<b>5.4. SÍNTESE - PROJECTO E METODOLOGIA DE SPOP .....</b>	<b>187</b>
<b>6. SISTEMA DE APOIO AO PROJECTO DE SPOP BASEADO NA METODOLOGIA GCD ...</b>	<b>191</b>
<b>6.1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>191</b>
<b>6.2. ARQUITECTURA DO SISTEMA DE APOIO AO PROJECTO DE SPOP.....</b>	<b>193</b>
<b>6.3. COMPONENTES E DESCRIÇÃO DO SISTEMA SAP_SPOP .....</b>	<b>196</b>

6.3.1. <i>Visão global da base de dados</i> .....	196
6.3.2. <i>Tabelas principais da base de dados</i> .....	198
6.3.3. <i>Relacionamento entre tabelas</i> .....	203
<b>6.4. INTERFACES</b> .....	208
<b>6.5. BASE DE MÉTODOS</b> .....	209
6.5.1. <i>Implementação de critérios para o Projecto Genérico</i> .....	209
6.5.2. <i>Métodos para actividades do Projecto Detalhado</i> .....	209
<b>7. CONCLUSÃO</b> .....	217
7.1. <b>VALIDADE DO CONCEITO SPOP</b> .....	217
7.2. <b>METODOLOGIA E PROTÓTIPO</b> .....	218
7.3. <b>CONTRIBUIÇÃO CONCEPTUAL E ONTOLÓGICA</b> .....	219
7.4. <b>APLICAÇÃO DA METODOLOGIA</b> .....	220
7.5. <b>TRABALHO FUTURO</b> .....	221
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	223
<b>APÊNDICES</b> .....	257
<b>APÊNDICE A - Questionário sobre o sistema de produção implementado nas empresas de confecção</b> .....	259
<b>APÊNDICE B - Ferramentas que podem ser utilizadas na metodologia GCD para o projecto de SPOP</b> .....	267
<b>APÊNDICE C - Abordagens/métodos para a formação de células de produção</b> .....	299
<b>APÊNDICE D - Aplicação da metodologia GCD a um caso industrial</b> .....	319

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Modelos conceptuais de sistemas de produção.....	21
Figura 2. Tipo de orientação de fluxos de produção.....	29
Figura 3. Organização baseada na configuração genérica de SPOF.....	30
Figura 4. Organização baseada na configuração genérica de SPOP.....	33
Figura 5. Representação de um SPOP.....	38
Figura 6. Ponto de colocação da encomenda.....	42
Figura 7. Representação esquemática de células conceptuais básicas resultantes da combinação de fluxos.....	51
Figura 8. Representação esquemática de células partilhadas.....	52
Figura 9. Configurações básicas de postos de trabalho.....	53
Figura 10. Representação do sistema de produção modular.....	59
Figura 11. Representação do UPS ou Eton System.....	60
Figura 12. Impacto da redução do tamanho do lote.....	61
Figura 13. Arranjos base para comparação entre modos operatórios a) arranjo em U; b) arranjo linear... ..	72
Figura 14. Representação do modo <i>working balance</i> a) num arranjo em U; b) num arranjo linear.....	73
Figura 15. Representação do modo <i>rabbit chase</i> a) num arranjo em U; b) num arranjo linear.....	75
Figura 16. Representação do modo TSS a) num arranjo em U; b) num arranjo linear.....	76
Figura 17. Representação do modo <i>baton-touch</i> a) num arranjo em U; b) num arranjo linear.....	78
Figura 18. Representação do modo <i>bucket-brigades</i> a) abordagem geral; b) arranjo em U; c) arranjo linear.....	79
Figura 19. Perda da sinergia do efeito de <i>pooling</i> na conversão de sistemas funcionais para células.....	87
Figura 20. Fases da metodologia GCD.....	109
Figura 21. Projecto Genérico.....	111
Figura 22. Representação de um plano de processo com vários subprocessos.....	118
Figura 23. Representação de um plano operatório.....	119
Figura 24. Representação de dois planos sequenciais de operações.....	120
Figura 25. Relação Q e P para selecção de sistemas de produção.....	126
Figura 26. Projecto Conceptual.....	132
Figura 27. Dados para o exemplo de produção de 4 produtos.....	136
Figura 28. Células conceptuais para as famílias FP2 e FP1.....	142
Figura 29. Lista de materiais dos produtos compostos.....	142
Figura 30. Operadores para as células formadas.....	145
Figura 31. Projecto Detalhado.....	147
Figura 32. Peças com forma idêntica e processos de fabrico diferentes.....	149
Figura 33. Procedimento para seleccionar a configuração operacional.....	153
Figura 34. Células para as famílias FP2 e FP1 com representação dos fluxos.....	157
Figura 35. Células para as famílias dos produtos simples.....	159
Figura 36. Células para as famílias FPS1 e FPS2 com representação dos fluxos.....	160
Figura 37. Postos e operadores para as células CNB1 e CNB2.....	165
Figura 38. Postos e operadores para as células CB1 e CB2.....	168
Figura 39. Arranjos em U para as células CNB1 e CNB2.....	175
Figura 40. Modo operatório para os operadores das células CNB1 e CNB2.....	176
Figura 41. Sequenciação dos nove primeiros produtos da CNB1 num diagrama de Gantt.....	177
Figura 42. Arranjo para a CB1: a) linear; b) em U.....	178
Figura 43. Arranjo em U para a CB2.....	178
Figura 44. Modos operatórios para as células CB1 e CB2.....	179
Figura 45. Implantação intercelular das 4 células formadas.....	185
Figura 46. Pares de células para o sistema POLCA no SPOP.....	186
Figura 47. Arranjo alternativo para o SPOP.....	187

Figura 48. Perspectivas, síntese e agentes de implementação da metodologia GCD de projecto de SPOP .....	189
Figura 49. Representação esquemática da arquitectura do sistema SAP_SPOP .....	194
Figura 50. Visão simplificada da arquitectura do SAP_SPOP .....	195
Figura 51. Modelo de dados do SAP_SPOP .....	197
Figura 52. Formulário para aceder às tabelas para introdução de dados no SAP_SPOP .....	199
Figura 53. Formulário “Operações” .....	200
Figura 54. Formulário “Maquinas” .....	200
Figura 55. Formulário “Características” .....	201
Figura 56. Botão “Características” do formulário “Maquinas” .....	201
Figura 57. Formulário “Produtos” .....	202
Figura 58. Propriedades do produto .....	202
Figura 59. Lista de materiais .....	203
Figura 60. Formulário para selecção, afectação e instanciação de operações para o produto .....	204
Figura 61. Formulário para definição da sequência operatória e visualização do grafo correspondente .....	205
Figura 62. Instanciação das operações genéricas e afectação de máquinas para um produto específico .....	206
Figura 63. Formulário para selecção e afectação das características às operações do produto .....	206
Figura 64. Representação esquemática da selecção de máquinas para as operações .....	207
Figura 65. Formulário que mostra as máquinas válidas para cada operação .....	208
Figura 66. Interface principal com o utilizador .....	208
Figura 67. Formulário para ajuda na selecção de um sistema de produção .....	209
Figura 68. Interface principal com o menu “Métodos” .....	210
Figura 69. Formulário para gestão dos métodos .....	210
Figura 70. Formulário para o pedido .....	211
Figura 71. Formulário do servidor .....	211
Figura 72. Formulário para configurar métodos .....	212
Figura 73. Formulário do arranque da actividade A31 .....	212
Figura 74. Tabela da matriz 0/1 ou de incidência .....	213
Figura 75. Apresentação da solução pelo método DCA .....	214
Figura B- 1. Entradas e saídas de um estudo de mercado .....	272
Figura B- 2. Entradas e saídas de inquérito aos clientes .....	273
Figura B- 3. Entradas e saídas da previsão de procura .....	274
Figura B- 4. Entradas e saídas de uma análise SWOT .....	275
Figura B- 5. Matrizes de desenvolvimento da Função de Qualidade .....	276
Figura B- 6. Entradas e saídas do benchmarking .....	277
Figura B- 7. Entradas e saídas de um planeamento do processo .....	280
Figura B- 8. Exemplo de uma curva ABC .....	282
Figura B- 9. Proposta de agrupamento dos métodos de justificação económica .....	286
Figura B- 10. Geração e utilização de informação .....	287
Figura D- 1. Implantação inicial .....	326
Figura D- 2. Configurações conceptuais das células .....	336
Figura D- 3. Células conceptuais instanciadas .....	344
Figura D- 4. Afectação das operadoras às células e postos .....	348
Figura D- 5. Arranjo intracelular das células .....	350
Figura D- 6. Modos operatórios dos operadores dentro das células .....	351
Figura D- 7. Sequenciação das famílias de mercado nas células .....	351
Figura D- 8. Sequenciação das famílias de mercado com minimização do tempo de percurso médio .....	352
Figura D- 9. Arranjo intercelular .....	352
Figura D- 10. Nova sequenciação das famílias nas células .....	353

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Relacionamento entre modelos conceptuais de sistemas de produção, paradigmas, abordagens organizacionais e sistemas de produção.....	23
Tabela 2. Configurações conceptuais de SPOP .....	52
Tabela 3. Configurações básicas e híbridas de postos de trabalho.....	55
Tabela 4. Relacionamento das configurações conceptuais com as configurações operacionais de SPOP. ....	66
Tabela 5. Comparação dos modos operatórios .....	80
Tabela 6. Resumo das metodologias de projecto apresentadas.....	105
Tabela 7. Características da estratégia produtiva de resposta à procura .....	113
Tabela 8. Quantificação das características da estratégia produtiva de resposta à procura.....	114
Tabela 9. Processos e equipamento principal de uma empresa de vestuário .....	120
Tabela 10. Caracterização dos SPOF vs. SPOP .....	122
Tabela 11. Caracterização do sistema actual.....	123
Tabela 12. Tabela de decisão para a selecção entre SPOP e SPOF .....	127
Tabela 13. Aplicação do método de análise pesada de factores para selecção entre SPOP e SPOF.....	128
Tabela 14. Relação da estratégia de produção com a configuração genérica do sistema de produção ....	129
Tabela 15. Relação tipo de procura com a configuração genérica .....	129
Tabela 16. Identificação de problemas que poderão ocorrer na empresa mais frequentemente .....	130
Tabela 17. Combinação de critérios finais para selecção entre SPOP e SPOF.....	131
Tabela 18. Quantificação dos factores face às configurações .....	134
Tabela 19. Tabela de decisão para selecção entre CB e CNB.....	134
Tabela 20. Combinação de critérios para selecção entre CB e CNB .....	135
Tabela 21. Famílias de mercado vs. famílias de produção.....	135
Tabela 22. Famílias de mercado e processos (matriz FMxPP) .....	137
Tabela 23. Famílias de mercado e operações genéricas (matriz FMxOpG).....	137
Tabela 24. Produtos compostos e operações genéricas (matriz PCxOpG) .....	138
Tabela 25. Contabilização das operações genéricas dos planos operatórios.....	139
Tabela 26. Reorganização da matriz PCxOpG .....	140
Tabela 27. Cálculo do número de máquinas para as famílias de produção.....	140
Tabela 28. Afectação de máquinas à FP2 .....	140
Tabela 29. Afectação de máquinas à FP1 .....	141
Tabela 30. Produtos simples e operações genéricas (matriz PSxOpG) e famílias .....	143
Tabela 31. Caracterização das situações relativamente às configuração de postos.....	144
Tabela 32. Cálculo do número de operadores para a FP2.....	145
Tabela 33. Cálculo do número de operadores para a FP1 .....	145
Tabela 34. Desagregação das operações genéricas dos produtos simples.....	150
Tabela 35. Famílias de produtos simples com base nas operações de processamento.....	150
Tabela 36. Fluxos de trabalho presentes nas configurações operacionais.....	153
Tabela 37. Quantificação dos factores face às configurações operacionais .....	154
Tabela 38. Planos sequenciais possíveis para a FP1 .....	155
Tabela 39. Planos sequenciais possíveis para a FP2 .....	155
Tabela 40. Cálculo do número de máquinas para a sequência fictícia da FP2.....	156
Tabela 41. Cálculo do número de máquinas para a sequência fictícia da FP1 .....	157
Tabela 42. Máquinas para as operações de processamento .....	158
Tabela 43. Planos sequenciais das operações e quantidades dos produtos .....	158
Tabela 44. Postos para CNB1 .....	164
Tabela 45. Postos para CNB2 .....	164
Tabela 46. Configurações dos postos de trabalho para o exemplo dos produtos compostos.....	165
Tabela 47. Cálculo do número de operadores para a CB1 .....	166



Tabela 48. Cálculo do número de operadores para a CB2 .....	166
Tabela 49. Postos para CB1 .....	166
Tabela 50. Postos para CB2 .....	167
Tabela 51. Competências dos operadores .....	167
Tabela 52. Configurações dos postos de trabalho para o exemplo dos produtos simples .....	168
Tabela B- 1. Ferramentas utilizadas na metodologia para o projecto de SPOP .....	270
Tabela C- 1. Abordagem manual .....	303
Tabela C- 2. Abordagem da classificação e codificação .....	304
Tabela C- 3. Métodos de agrupamento baseados em coeficientes de similaridade .....	305
Tabela C- 4. Métodos de agrupamento baseados em manipulação de matrizes .....	307
Tabela C- 5. Métodos e técnicas da abordagem matemática .....	308
Tabela C- 6. Métodos e técnicas de inteligência artificial e pesquisa local .....	312
Tabela C- 7. Simulação .....	317
Tabela D- 1. Identificação dos factores adequados para selecção da ERP .....	322
Tabela D- 2. Designação e quantidade de máquinas .....	324
Tabela D- 3. Distribuição dos Recursos Humanos pelas funções .....	324
Tabela D- 4. Processos e equipamento principal da empresa .....	324
Tabela D- 5. Operações de costura das referências .....	325
Tabela D- 6. Caracterização do sistema actual da empresa .....	327
Tabela D- 7. Aplicação do método de análise pesada de factores aos dados da empresa para selecção entre SPOP e SPOF .....	328
Tabela D- 8. Selecção da configuração genérica para a empresa usando todos os critérios .....	329
Tabela D- 9. Aplicação do método de análise pesada de factores aos dados da empresa para selecção entre células básicas e não básicas .....	330
Tabela D- 10. Quantidades por família de mercado para cada colecção .....	331
Tabela D- 11. Quantidades por família para as referências da classe A .....	332
Tabela D- 12. Matriz FMxOpG e Matriz FMxOpG arranjada .....	332
Tabela D- 13. Matriz RefxOpG e famílias de produção (FP) .....	333
Tabela D- 14. Cálculo de máquinas para as famílias de produção .....	334
Tabela D- 15. Matriz RefxOpP .....	337
Tabela D- 16. Cálculo de máquinas para as 4 famílias de produção .....	339
Tabela D- 17. Planos operatórios das famílias de produção .....	341
Tabela D- 18. Células para as famílias de produção formadas .....	342
Tabela D- 19. Recálculo de máquinas para as células .....	342
Tabela D- 20. Máquinas para as células .....	344
Tabela D- 21. Selecção da configuração operacional .....	344
Tabela D- 22. Número de operadores por célula .....	345
Tabela D- 23. Balanceamento para a célula A (TC = 1) .....	345
Tabela D- 24. Balanceamento para a célula B (TC = 1,40) .....	346
Tabela D- 25. Balanceamento para a célula C (TC = 3,4) .....	346
Tabela D- 26. Balanceamento para a célula D (TC = 2,2) .....	346
Tabela D- 27. Competências dos operadores nas operações genéricas .....	347
Tabela D- 28. Operadoras seleccionadas .....	348
Tabela D- 29. Postos de trabalho instanciados .....	349

## LISTA DE ACRÓNIMOS E SIGLAS

ATO	<i>Assembly To Order</i>
BOM	<i>Bill Of Material</i>
BPR	<i>Business Process Reengineering</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing</i>
CIM	<i>Computer Integrated Manufacturing</i>
CJIT	<i>Célula Just In Time</i>
CNC	<i>Computer Numerical Control</i>
CONWIP	<i>CONstant Work In Process</i>
CQRM	<i>Célula Quick Response Manufacturing</i>
CRAFT	<i>Computerized Relative Allocation of Facilities Technique</i>
CV	<i>Célula Virtual</i>
DBR	<i>Drum Buffer Rope</i>
DFA	<i>Design For Assembly</i>
EDI	<i>Electronic Data interchange</i>
ERP	<i>Estratégia de Resposta à Procura</i>
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
ETO	<i>Engineer To Order</i>
FWG	<i>Flexible Work Group</i>
GCD	<i>Genérico, Conceptual, Detalhado</i>
GQT	<i>Gestão da Qualidade Total</i>
GTSA	<i>Grupos de Trabalho Semi-Autónomos</i>
ICAM	<i>Integrated Computer Aided Manufacturing</i>
IDEF	<i>ICAM DEFinition</i>
IDEF0	<i>Integration Definition Function Modeling</i>
ISO	<i>International Standards Organization</i>
JIT	<i>Just In Time</i>
L-CMS	<i>Linked-Cell Manufacturing System</i>
MMS	<i>Modular Manufacturing System</i>
MRP	<i>Materials Requirement Planning</i>
MRPII	<i>Manufacturing Resources Planning</i>

MTD	<i>Make To Demand</i>
MTO	<i>Make To Order</i>
MTS	<i>Make To Stock</i>
NC	<i>Numerical Control</i>
OPF	<i>One-Piece Flow</i>
OPT	<i>Optimized Production Technology</i>
PBC	<i>Period Batch Control</i>
PDP	Plano Director de Produção
PFA	<i>Production Flow Analysis</i>
POLCA	<i>Pair Overlapping Loop of Cards with Authorization</i>
QR	<i>Quick Response</i>
QRM	<i>Quick Response Manufacturing</i>
QRS	<i>Quick Response System</i>
SFF	Sistema de Fabricação Flexível
SLP	<i>Systematic Layout Planning</i>
SMF	Sistema de Montagem Flexível
SPF	Sistema de Produção Flexível
SPOF	Sistema de Produção Orientado à Função
SPOP	Sistema de Produção Orientado ao Produto
TG	Tecnologia de Grupo
TOC	<i>Theory Of Constraints</i>
TPM	<i>Total Preventive Maintenance</i>
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i>
TPS	<i>Toyota Production System</i>
TQC	<i>Total Quality Control</i>
TQM	<i>Total Quality Management</i>
TSS	<i>Toyota Sewing System</i>
UPS	<i>Unit Production System</i>

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. CONTEXTO DE INVESTIGAÇÃO

De uma forma geral e simplificada pode-se classificar a produção industrial de bens em duas grandes categorias de produção: a discreta e a de processo.

A primeira está associada à produção de bens contáveis, frequentemente resultantes de um processo de montagem e cujos componentes do produto, neste caso, são normalmente identificáveis por observação simples e separáveis, i.e. desmontáveis, por processos físicos. São exemplos destes produtos, os de vestuário, quaisquer espécie de veículos e os de mobiliário. Podem considerar-se processos de montagem quaisquer processos de união de duas ou mais peças ou componentes, resultantes, por exemplo, de costura, colagem, soldadura, encaixe, aparafusamento, rebitagem e embalagem.

A segunda classe refere-se a produtos de processo, i.e. de constituição uniforme, geralmente medidos, por exemplo, em unidades de comprimento, capacidade ou peso, resultantes da mistura de elementos ou substâncias cuja identificação por observação simples do produto, ou a sua separação por métodos físicos de desmontagem, não é possível. São exemplos deste produtos os tecidos, os fios, os combustíveis, os detergentes, as colas, as tintas, aglomerados de madeira e produtos químicos diversos. Deve-se realçar que a embalagem destes produtos, e o corte de alguns, resultando em produtos discretos, se podem ver como actividades de produção discreta.

Este trabalho incide sobre a problemática da concepção de sistemas de produção para satisfação da procura de bens de produção discreta. Em particular dirige-se ao desenvolvimento, estruturação e organização de abordagens, procedimentos e métodos que apoiem o projecto de sistemas de produção. Nesta perspectiva propõe-se apresentar uma metodologia de apoio ao projecto da configuração e da operação de sistemas de produção. Apresenta-se, ainda, um enquadramento teórico e prático para permitir chegar a configurações e formas apropriadas de operação de sistemas de produção de produtos discretos face ao comportamento da procura e das necessidades de transformação dos produtos. Embora, inicialmente desenvolvido na perspectiva da indústria do vestuário, o trabalho tem o objectivo de ser também extensível a outras indústrias de produção discreta de bens, por exemplo, o sector da produção de produtos metálicos.

## **1.2. MOTIVAÇÃO E QUESTÕES DE INVESTIGAÇÃO**

Nas últimas décadas as empresas têm enfrentado desafios, cada vez mais exigentes e crescentes, devido principalmente à elevada concorrência resultante da inovação e da globalização dos mercados de bens, serviços e factores de produção. Como consequência, têm uma necessidade premente de responderem de forma rápida e eficaz, com qualidade e a custos reduzidos às solicitações do mercado cada vez mais variáveis e exigentes. Desta forma, precisam de abordagens e sistemas de produção que satisfaçam continuamente esta necessidade porque as abordagens tradicionais são incompatíveis com estas exigências e paradigmas de mercado e concorrência actuais.

Se se tiver em conta que o melhor sistema de produção para um dado produto é aquele desenhado e concebido especificamente para satisfazer os requisitos de transformação desse produto, parece apropriado pensar que qualquer sistema de produção devia ser concebido e constantemente adaptado ou ajustado aos requisitos variáveis de produção de cada produto, equacionando, entre outros aspectos, a quantidade, o prazo de produção e os processos de fabrico a adoptar, determinados pela natureza do produto, variação da procura e, ainda, pelos factores e tecnologia de produção disponíveis.

Claramente que, à luz das características tradicionais da tecnologia e dos mercados de produtos e de recursos de produção, a concepção de sistemas de produção baseada nesta filosofia de “um produto um sistema”, sistema esse aqui designado por Sistema de Produção Orientado ao Produto (SPOP), pode, em muitos casos, considerar-se utópica. Mas o paradigma de mercado, económico e tecnológico de hoje é bastante diferente do do passado. Não só pela natureza global dos mercados e pela elevada concorrência, mas também pelo avanço tecnológico verificado nas últimas décadas, dependente de novos meios de informação e comunicação e da revolução nos processos e tecnologias de produção e de gestão. Portanto, seria ingénuo descartar a filosofia organizacional e produtiva SPOP, sem a investigar e avaliar a viabilidade da sua implementação prática. Este trabalho de investigação equaciona esta questão orientando-se, principalmente a analisar e responder às seguintes questões principais:

    Será vantajoso e apropriado explorar a implementação na prática industrial da filosofia organizacional “um produto um sistema”, i.e. de Sistemas de Produção Orientados ao Produto, como forma de responder às variações da procura?

E, em caso afirmativo, que instrumentos deveriam ser disponibilizados para viabilizar a concepção rápida da configuração e das formas de operação destes sistemas, como passo fundamental para a sua reconfiguração dinâmica com vista a responder de forma flexível e ágil ao mercado altamente concorrencial e variável actual?

Isto equivale a perguntar se, com base nos recursos de produção ao alcance da empresa seria, ou não, apropriado e desejável ir reconfigurando os sistemas de produção de forma a ajustá-los estritamente às necessidades variáveis de produção de cada produto que se pretende fabricar em cada período. Isto implicaria um processo dinâmico de reconfiguração, de acordo com a variação da procura, e daí poder-se enquadrar a questão de investigação no contexto da reorganização ou reconfiguração dinâmica de Sistemas de Produção Orientados ao Produto. A palavra dinâmica reforça a palavra reconfiguração para expressar que esta pode ser frequente, face à volatilidade dos mercados actuais e ainda à constante inovação de produtos, equipamentos e processos.

É importante perceber o que se quer dizer quando se refere Produto no contexto dos Sistemas de Produção Orientados ao Produto. Tal pode significar, por um lado e na situação mais linear, uma encomenda de um produto bem definido e especificado a entregar num dado prazo, por exemplo, um lote de fatos de treino de um dado modelo, ou uma quantidade de secretárias de uma dada referência. Pode, por outro lado, significar um produto de um dado tipo, por exemplo, assentos de automóveis, a fornecer de forma continuada para satisfazer um número de encomendas ou quantidade variável durante um dado período. Ou pode, ainda, referir-se a uma família de produtos do mesmo tipo, partilhando exactamente o mesmo processo de fabrico, e portanto podendo partilhar o mesmo SPOP por um período variável dependendo da variação da procura. Portanto, uma característica fundamental do SPOP é a sua orientação ou dedicação a um dado produto por um período limitado, ao fim do qual é adaptado ou reconfigurado, com eventual supressão ou acrescento de recursos de produção dependentes das novas necessidades de produção, associadas ao mesmo ou a um novo produto, no próximo período de produção.

No passado a decisão a favor de sistemas dedicados aos produtos era mais fácil de tomar do que actualmente. Normalmente, devido às quantidades elevadas de produção, reduzida inovação, estabilidade da procura e baixa concorrência, os sistemas dedicados

aos produtos podiam ser economicamente estabelecidos e mantidos sem alteração por períodos prolongados que podiam atingir anos. Portanto, a reconfiguração de sistemas de produção era raramente necessária. Por isso, o sistema era concebido com características de tal forma rígidas que a sua reconfiguração não era possível, i.e. a sua reconversão para produzir produtos diferentes não era economicamente atractiva. Hoje um tal paradigma de sistema produtivo tende a ter expressão reduzida, sendo economicamente inviável nos mercados exigentes actuais, devido, principalmente, à inovação e aos ciclos de vida muito mais curtos dos produtos e à instabilidade da procura. Esta realidade exige agilidade produtiva para resposta rápida ao cliente, não compatível com os sistemas tradicionais dedicados ao produto, sendo ainda requerido o baixo custo oferecido por estes. Isto será realmente possível com sistemas dedicados ao produto contanto que se encontre agilidade na sua reconfiguração e flexibilidade na sua operação para dinamicamente os ajustar às necessidades variáveis de produção, de forma rápida, eficaz e sem custos que comprometam a capacidade competitiva das empresas. Nestas circunstâncias os SPOP poderão ter sucesso, e serão um paradigma de organização produtiva a adoptar, de forma generalizada, no presente e no futuro, desde que estes requisitos de agilidade, flexibilidade e baixos custos de produção, garantindo naturalmente a qualidade de produção, sejam conseguidos. Nesta perspectiva podem complementar, e até concorrer de forma vantajosa em faixas importantes da procura com os sistemas organizados funcionalmente ou por processo, tradicionalmente recomendados para um ambiente de grande variedade de produtos em pequenas séries ou produção unitária ou de produção por encomenda.

### **1.3. OBJECTIVOS DO TRABALHO**

Uma vez justificada a vantagem em considerar e, eventualmente, implementar na prática o paradigma SPOP, pretende-se oferecer instrumentos úteis de apoio à reconfiguração rápida de SPOP, na sua perspectiva organizacional, física ou virtual, e operatória. Como instrumento central e integrador de outros instrumentos, pretende-se desenvolver uma metodologia de apoio ao projecto de SPOP. Esta metodologia deverá basear-se em objectivos estratégicos, táticos e operacionais da empresa e ser capaz de guiar o projectista no processo de concepção da configuração de sistemas de produção, nas vertentes organizacional e operatória.. Deverá naturalmente, em tal processo, equacionar restrições, em relação, por exemplo, ao mercado e aos meios e processos de

produção, tendo em conta métodos, procedimentos ou mecanismos de concepção de sistemas de produção que podem ou devem ser utilizados. Desta forma deverá ajudar a definir o arranjo organizacional de SPOP e se necessário a sua forma de operação, ajustando os sistemas de produção às necessidades variáveis de produção para a satisfação da procura. Assim, serão identificadas fases de concepção do arranjo e da operação do sistema de produção.

Portanto, a metodologia dirige-se, principalmente, ao apoio da resolução de dois problemas fundamentais relacionados de concepção de SPOP:

- i. Definição e especificação da configuração de SPOP explorando e avaliando arranjos alternativos dos componentes do sistema de produção;
- ii. Definição e especificação da forma de operar e controlar os SPOPs explorando e avaliando formas alternativas para o efeito.

No primeiro problema tem-se presente a necessidade de identificar os meios de produção e estabelecer a sua implantação, definindo de forma agregada o fluxo de produção dentro das unidades de produção e entre as unidades. Para tal, deve considerar-se a necessidade de estabelecer tanto arranjos físicos como arranjos virtuais. Nestes, as unidades de produção estão dispersas, local ou globalmente, assumindo-se não se pretender realizar qualquer deslocalização das unidades de produção. Nos arranjos físicos os equipamentos ou unidades de produção do sistema são reunidas em espaço próprio e reposicionadas umas em relação às outras, com base nos processos de fabrico, explorando fluxos predominantes de produção entre elas e também dentro das próprias unidades produtivas quando estas são constituídas por mais que um posto de trabalho. Isto acontece, normalmente, quando as unidades são células de produção interligadas constituintes do SPOP.

No segundo problema pretende-se estabelecer os modos operatórios que definirão prioridades de lançamentos dos produtos em produção, os fluxos detalhados de produção e ainda a forma como a intervenção, integração e relacionamento de operadores humanos se realiza em cada SPOP.

No contexto da metodologia o trabalho tem também o objectivo de fazer uma análise e uma síntese dos arranjos organizacionais alternativos de SPOP, a explorar para implementação e, ainda, uma análise e uma síntese das formas operacionais a adoptar.



Assim tanto a implantação de equipamentos associados a cada tipo de configuração como mecanismos de operação, controlo e coordenação da actividade produtiva, quer dentro de cada unidade complexa, por exemplo, célula, quer entre cada uma, i.e. no sistema SPOP como um todo, deverão ser criticamente estudadas.

No sentido de dar utilidade à metodologia e facilitar a sua implementação na prática industrial, será dada uma contribuição importante para o desenvolvimento de um sistema de apoio ao projecto de SPOP assistido por computador.

Uma contribuição adicional importante que se pretende dar está relacionada com o universo de termos, conceitos, métodos, mecanismos e seu relacionamento, no contexto da organização e gestão de sistemas de produção orientados ao produto, como base para uma ontologia no domínio de investigação da tese. Nesta perspectiva uma descrição e análise crítica da ontologia existente relevante será levada a cabo juntamente com uma contribuição original importante no contexto da investigação não só em termos e conceitos como em mecanismos, métodos e, principalmente, configurações de sistemas de produção.

#### **1.4. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO**

Feita a introdução no capítulo 1, onde se apresenta o contexto e se enquadra e definem os objectivos de investigação, o trabalho começa por apresentar, no capítulo 2, uma visão sucinta de paradigmas de produção e formas genéricas ou modelos conceptuais de sistemas de produção ajustados a diferentes comportamentos da procura e natureza do mercado. O capítulo introduz, também, conceitos e termos importantes no domínio do tema investigado usados neste trabalho.

No capítulo 3 apresenta-se o conceito SPOP, clarificando-o e definindo-o como um paradigma recente de produção derivado da chamada Produção Celular (Wemmerlöv e Hyer, 1989; Singh e Rajamani, 1996; Suresh e Kay, 1998 e Hyer e Wemmerlöv, 2002), largamente estudada e recomendada ainda hoje, mas principalmente nas três últimas décadas. Faz-se à apologia do uso de SPOP como paradigma de produção actualmente relevante e adequado em face das novas exigências de mercado e variações da procura. Apresentam-se e estudam-se, ainda, instrumentos de produção e gestão marcantes no contexto dos SPOP e disponíveis que permitem flexibilizar e agilizar os processos produtivos e, conseqüentemente, o projecto de SPOP.

Antes de avançar com uma proposta de metodologia de projecto de SPOP, investiga-se no capítulo 4 as propostas encontradas na literatura, relacionadas com o projecto de sistemas de produção celular, ou com sistemas que configuram ou aproximam o que nesta tese se identifica como SPOP.

Demonstrada a necessidade de tratar de forma integrada e relacionada as questões necessárias à concepção de SPOP, encontradas de alguma forma dispersas ou demasiado generalizadas nas metodologias investigadas no capítulo 4, no capítulo 5 apresenta-se uma metodologia para o efeito exemplificando a sua aplicação. A metodologia destina-se a apoiar o projectista a analisar e a construir, por passos sucessivos e iterativos, soluções de SPOP compatíveis com as necessidades de produção resultantes da procura e com a tecnologia e recursos de produção existentes. Uma contribuição para a validação da metodologia é também apresentada com base num caso industrial de estudo na indústria do vestuário descrito no apêndice D e publicado em Silva e Alves (2003).

No capítulo 6 faz-se uma revisão de sistemas assistidos por computador de apoio ao projecto de sistemas de produção, com relevância para os SPOP, naturalmente associados a algumas metodologias revistas no capítulo 4, e discute-se as diferenças e relevância de desenvolvimento de um sistema assente na metodologia desenvolvida neste trabalho. Realça-se que a metodologia só terá efectiva utilidade prática depois da sua implementação através de um sistema de projecto de SPOP assistido por computador. No sentido de contribuir para uma tal implementação, corporizando a metodologia e dando-lhe utilidade prática, ensaia-se a sua implementação através de um protótipo designado de “Sistema de Apoio ao Projecto de SPOP – SAP\_SPOP”. Este é baseado em três componentes fundamentais. Uma base de dados, onde todas as informações sobre recursos disponíveis, produtos a produzir, prazos e processos de fabrico, para citar alguns fundamentais, devem ser disponibilizadas para efeitos de projecto de SPOP através da metodologia. Uma base de conhecimento distribuída, designada de base de métodos, onde se disponibilizam os métodos necessários à execução das diferentes fases de projecto, o que, em última análise, permite chegar à solução do problema, i.e. definir e especificar o SPOP necessário à produção de cada produto ou família de produtos similares para um dado período de produção. O terceiro componente, designado de motor de projecto, articula os dados da base de dados com os

métodos da base de métodos para efectivamente realizar a função de projecto e obter soluções de SPOP. Os dados do caso industrial estudado, acima referido, foram utilizados no SAP\_SPOP para povoar a base de dados e testar o protótipo.

Conclui-se o trabalho com o capítulo 7 apresentando-se as conclusões sobre a validade do conceito SPOP, a metodologia GCD como facilitadora do processo de projecto de SPOP apoiada por um sistema assistido por computador, a contribuição conceptual e ontológica como suporte e enquadramento à investigação e a frequência de utilização da metodologia pela empresas. Adicionalmente, apresentam-se como perspectivas de trabalho futuro possíveis fontes de investigação a explorar de forma a melhorar a metodologia e a obter um sistema de apoio ao projecto numa versão utilizável pelas empresas.

Convém, finalmente, referir que uma lista importante de métodos e outros instrumentos a utilizar na concepção de SPOP, através da implementação dos passos sucessivos da metodologia desenvolvida, são apresentados nos apêndices B e C como resultado de uma revisão bibliográfica.

## **2. PARADIGMAS E ORGANIZAÇÃO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO**

Os sistemas de produção devem ser projectados e geridos para satisfazer as necessidades de mercado. Crítico a este projecto e gestão é a previsibilidade da procura. A abordagem à produção é diferente de acordo com esta previsibilidade pois uma procura estável, conhecida no médio e longo prazo, pede uma abordagem à produção, uma procura variável mas previsível pede outra e uma procura instável ou turbulenta e não previsível requer ainda outra. Torna-se assim necessário caracterizar a previsibilidade da procura para encontrar a abordagem e o sistema mais adequado à produção.

Neste capítulo procura-se caracterizar esta previsibilidade e paradigmas de produção associados onde estão subjacentes abordagens à produção ligados a modelos conceptuais e configurações de sistemas de produção, assunto parcialmente tratado e publicado em Carmo-Silva et al. (2006).

### **2.1. PARADIGMAS DE PRODUÇÃO**

A previsibilidade da procura tem sido a base para classificar os chamados paradigmas de produção. Tais paradigmas são essencialmente três: produção em massa, produção repetitiva e produção não repetitiva. Nas secções seguintes são descritos estes paradigmas.

#### **2.1.1. Produção em massa**

O paradigma da produção em massa é resultante de um mercado onde a procura é previsível e estável mantendo-se assim durante longos períodos de tempo. A quantidade procurada dos produtos é, normalmente, grande, requerendo que a produção seja contínua, a uma taxa que, idealmente, corresponda exactamente à procura. Produção contínua significa que um produto é repetidamente produzido, unidade por unidade, desde a primeira à última fase do processo de conversão.

O objectivo principal dos sistemas de produção do paradigma da produção em massa é produzir para satisfazer a procura ao mais baixo custo por unidade produzida. Assim para tirar vantagem de economias de escala, não apenas o sistema como um todo mas também os postos de trabalho, equipamento principal e ferramentas são dedicados ao

produto. Desta forma, o tempo de vida do sistema depende do tempo de vida do produto ao qual está dedicado.

### **2.1.2. Produção repetitiva**

O paradigma da produção repetitiva resulta de uma evolução da procura para uma situação de procura variável e menos previsível de produtos em pequenas quantidades e ciclos de vida mais curtos do que na produção em massa. Assim, um sistema dedicado a cada produto é economicamente inaceitável. Desta forma uma variedade de produtos, repetidamente requeridos ao longo do tempo, com requisitos de produção um tanto diferentes, devem ser produzidos no mesmo sistema de produção com características diferentes daqueles necessários para a produção em massa.

Este paradigma é, assim, baseado em repetir a produção de produtos cuja procura é previsível mas em quantidades que não justificam os sistemas para a produção em massa. Esta definição está de acordo com o que alguns autores consideram ser a produção repetitiva, nomeadamente, Bradford (2001) e MacCarthy e Fernandes (2000). Duas instâncias fundamentais deste paradigma são a produção repetitiva de fluxo uniforme (PRFU) e a produção repetitiva intermitente (PRI).

Na produção repetitiva de fluxo uniforme (PRFU) os produtos são conjuntamente produzidos a uma taxa de fluxo uniforme, de uma forma misturada, durante um período planeado de produção. Esta taxa é sincronizada com a taxa de procura prevista e, normalmente, o período planeado varia de poucos dias a semanas, dependendo dos requisitos e complexidade de produção. Pode dizer-se que na PRFU tenta-se produzir em massa, uma variedade de produtos em pequenas quantidades tal como se de um único produto em grandes quantidades se tratasse. Frequentemente, esta instância é referida como sendo a produção repetitiva (Toni e Panizzolo, 1997) como se nenhuma outra instância existisse.

A produção repetitiva intermitente (PRI) é baseada na produção repetitiva mas independente, i.e. não misturados, de produtos idênticos a produtos que tenham sido já produzidos anteriormente. O fluxo de produção não é uniforme mas, pelo contrário, intermitente, i.e. baseado em lotes independentes que fluem através do sistema. É comum a referência a esta instância do paradigma como sistemas de produção multi-

modelo em oposição aos sistemas de PRFU que são referidos como sistemas de produção de modelos misturados (Scholl, 1995).

Não menosprezando a importância do baixo custo por unidade, típico dos sistemas de produção em massa, os principais objectivos dos sistemas de produção repetitiva são o uso eficiente dos recursos de produção e o bom serviço ao cliente medido sobretudo por duas dimensões, nomeadamente, a entrega atempada e a qualidade dos produtos. Um aspecto importante do projecto destes sistemas é a sua capacidade de conjuntamente produzir, no mesmo período de produção, uma variedade de produtos requerida por uma procura variável mas previsível.

### **2.1.3. Produção não repetitiva**

O paradigma da produção não repetitiva está intimamente relacionado com o mercado turbulento e procura imprevisível para produtos únicos e diferentes de outros anteriormente produzidos, i.e. não se repetem. Um produto é diferente de outro se requer diferentes requisitos de produção e manuseamento e é produzido com, pelo menos, um componente diferente. Isto significa que a identificação das necessidades de produção não pode ser, razoavelmente, prevista. Isto é o resultado de uma concorrência global e das necessidades variáveis dos clientes. Este é, sem dúvida, o paradigma mais comum nos dias de hoje e de futuro. Embora se assuma que os produtos são requeridos apenas uma vez, i.e. é invulgar que a encomenda se repita, isto não significa que apenas uma unidade ou uma pequena quantidade de unidades sejam requeridas. De facto, um cliente pode requerer uma grande quantidade de um produto novo e específico. A produção não repetitiva está certamente relacionada com a personalização do produto implicando um envolvimento do cliente na especificação, i.e. personalização dos seus produtos.

A personalização do produto pode conduzir à abordagem de produção referida como *mass customization* (MC) ou personalização em massa. MC foi um conceito introduzido por Davis (1987) e trazido para a gestão de produção e operações por Pine (1993), é definido por este como: “*the ability of a firm to produce a variety of customized products quickly, on a large scale, and at a cost comparable to mass production*”. Significa isto produzir em massa produtos individualizados para os clientes assegurando rapidez de resposta e a um custo apenas conseguido na produção em massa do mesmo produto (Tu et al., 2004).

Um caso típico de produção em massa de bicicletas baseadas nas medidas individuais antropométricas do cliente e em outros requisitos do cliente é apresentado em Kotha (1995). Neste trabalho também se evidenciou que adoptar esta abordagem não implica o abandono da produção em massa podendo as duas estratégias serem exploradas em simultâneo para produtos diferentes numa mesma empresa, beneficiando a MC do conhecimento e experiência adquirida na produção em massa.

Uma definição mais actual é a definição de F. Piller “*Mass customization refers to a customer co-design process of products and services which meet the needs of each individual customer with regard to certain product features. All operations are performed within a fixed solution space, characterized by stable but still flexible and responsive processes. As a result, the costs associated with customization allow for a price level that does not imply a switch in an upper market segment*”. (Piller, 2005)

A frase é sublinhada pelo autor e significa que para ter processos flexíveis mas estáveis a produção passa por modularizar os produtos. Esta é também a opinião de Fulkerson (1997) e Duray et al. (2000). Assim, a MC está, muitas vezes, associada com o projecto e produção modular do produto, i.e. com a produção de opções e variantes modulares, ou *differentiation enablers* como são designados por Tseng e Jiao (2001). Pode designar-se de variantes as versões de um tipo de componente obrigatoriamente constituinte do produto. São opções as versões de um ou mais tipos de componentes não obrigatoriamente constituintes do produto. Opções são adicionais que integrarão o produto apenas na medida em que o cliente assim o deseje (Carmo-Silva, 2005).

A escolha pelo cliente dos *differentiation enablers* podem ser facilitados através dos configuradores de produtos, *product configurators* (Bourke, 2000 e Xie et al., 2005), que significa “*software with logic capabilities to create, maintain and use electronic product models that allow complete definition of all possible product option and variation combinations, with a minimum of data entries and maintenance*” segundo Bourke (2000).

No entanto, a MC pode não estar associada com a produção modular, depende de como é realizada. Por exemplo, Mintzberg (1988) considera que a personalização do produto pode ser realizada a três níveis: personalização pura, adaptada e estandardizada<sup>1</sup>. Personalização pura significa produtos projectados e produzidos a partir do esboço para

---

<sup>1</sup> Pure, tailored and standardized customization

cada cliente. Neste caso a personalização do produto não é necessariamente baseada no conceito modular, e assim, de acordo com Duray et al. (2000), MC pode não ser conseguida. Personalização estandardizada significa a montagem de produtos a partir de um conjunto de componentes standard de acordo com as necessidades individuais dos clientes e personalização adaptada é a alteração do projecto de um produto básico para se ajustar às necessidades dos clientes.

Gilmore e Pine (1997) referem quatro abordagens à personalização do produto dependente do grau de envolvimento do cliente no processo de personalização e ***propensão do produto para a personalização***<sup>2</sup>, que pode ser definido como a facilidade do produto se reconfigurar para adequar-se às necessidades e desejos individuais de clientes.

A MC pode ter uma repetitividade inerente da produção quando está associada com o projecto e produção modular, razão pela qual as soluções de organização da produção para a MC pode ser baseada não apenas no paradigma da produção não repetitiva mas também no paradigma da produção repetitiva através da modularidade dos componentes que podem ser produzidos como módulos standard combinados ou modificados posteriormente dando lugar à diferenciação.

No paradigma da produção não repetitiva, os requisitos de produção como um todo, desde a aquisição dos materiais à fabricação e/ou montagem, não podem ser estabelecidos em avanço em relação à procura. Isto deve-se à variedade imensa, ou teoricamente infinita, dos produtos que podem ser encomendados devido à personalização do produto em mercados turbulentos e imprevisíveis. Em tais mercados até os recursos de produção a usar tendem a ser reunidos apenas quando a oportunidade do negócio aparece. Isto é típico das empresas virtuais (Camarinha-Matos e Afsarmanesh, 1999).

Para serem competitivas, as empresas devem procurar sempre o baixo custo por unidade e boa qualidade do produto. Isto também se aplica à produção não repetitiva, no entanto, para as empresas sustentarem a capacidade de competitividade sob um mercado turbulento e imprevisível devem ser rápidas e assegurar qualidade no serviço ao cliente. Para responder a estes objectivos uma característica chave da produção não repetitiva é a agilidade para adaptação fácil ou acomodação de variabilidade constante de alterações

---

<sup>2</sup> Product customizability



nos requisitos de produção. Esta adaptação requer formas flexíveis de organização do trabalho, flexibilidade do sistema e, frequentemente, a capacidade de reconfiguração rápida do sistema.

## **2.2. ABORDAGENS ORGANIZACIONAIS**

Os paradigmas de produção descritos pedem diferentes abordagens organizacionais à produção. Cada abordagem é caracterizada por um conjunto particular de características gerais e atributos relacionados com a sua adequação a um mercado específico. Nesta secção são descritas cinco abordagens: produção em massa, produção em lotes, produção unitária, produção magra e produção ágil. Estas abordagens são capazes de lidar com todo o espectro de requisitos de produção dependente dos padrões de procura do produto.

### **2.2.1. Produção em massa**

A abordagem da produção em massa, como o nome indica, está estritamente relacionado com o paradigma da produção em massa identificado e implementa um sistema que durante o seu tempo de vida é totalmente dedicado à produção de um único produto. O sistema é projectado para produzir a taxa de produção esperada do produto. Enquanto esta taxa não for conseguida pode ser constituído stock até que o nível projectado seja atingido, parando a produção. Este é o caso quando a taxa de produção não pode ser ajustada e sincronizada com a taxa de procura. Noutros casos, este ajustamento pode ser conseguido pela redução do número de operadores como, por exemplo, nas linhas de montagem manuais. Algumas vezes, dada a similaridade de alguns produtos, eles podem partilhar periodicamente depois de pequenos ajustes, o mesmo sistema de produção e ser vistos como se do mesmo produto se tratasse. Neste caso é constituído stock porque enquanto um produto está a ser produzido, a procura de outros produtos é satisfeita do stock. Produção de modelos misturados não é típico na produção em massa.

A dedicação dos sistemas de produção em massa à produção de um único produto simplifica a gestão e controlo do sistema sendo tudo preparado detalhadamente ao nível do sistema de projecto e planeamento, inclusive, a divisão de operações e os seus operadores especializados. Os operadores são dedicados à execução de operações específicas que, de um modo balanceado, executam repetidamente para atingirem

elevado grau de desempenho. Esta forma tradicional de operar assenta nos princípios da gestão científica de *Taylor* (Taylor, 1911) e no modelo de produção *Fordista* (Graça, 2002a), nomeadamente, na especialização das pessoas e nas condições de trabalho rigorosas e rotineiras com o único objectivo de atingir taxas máximas de produção.

Actualmente, devido à concorrência e mudança frequente dos mercados, a produção em massa de produtos discretos montados a partir de uma variedade de componentes e submontagens é incomum. No entanto, ainda se encontra produção em massa de peças, produzidas quer por máquinas automáticas quer em linhas transfer e, ainda, nos produtos derivados da indústria de processo.

### **2.2.2. Produção em lotes**

Na abordagem organizacional de produção em lotes, vários produtos podem ser encomendados e a produção realiza-se em lotes, de uma forma repetitiva intermitente. Claramente a produção em lotes relaciona-se com a instância de produção repetitiva intermitente (PRI) descrita. Os requisitos de produção são normalmente conhecidos e os processos e gestão da produção são cuidadosamente estabelecidos para conseguir eficiência tecnológica e operacional.

O sistema de produção para a produção em lotes tem a capacidade para lidar com os requisitos de produção de vários produtos e deve ter vários graus de flexibilidade. Isto pode explorar a versatilidade de equipamentos com atendimento permanente ou não. No primeiro caso trata-se da produção em lotes tradicional e, no segundo, trata-se da produção em sistemas de produção flexível (FMS)<sup>3</sup> (Groover, 1980; Tempelmeier e Kuhn, 1993) e estações robotizadas.

O FMS pode ter duas classes: o sistema de fabricação flexível orientado à fabricação e o sistema de montagem flexível orientado à montagem. Groover (1980) define sistema de fabricação flexível como: *“a manufacturing system consisting of numerical control (NC) machines connected by an automated material handling system. It is operated under computer control and capable of simultaneously processing a family of parts in low to medium demand volume, different process cycles and operation sequences.”*

Estes sistemas são construídos a partir de equipamento flexíveis com mudanças de ferramentas para o processamento de multi-tarefas e são normalmente operados por

---

<sup>3</sup> Flexible Manufacturing System

operadores polivalentes. Uma variedade de ferramentas podem ser usadas para o projecto, gestão e operação do sistema de produção para melhor se adaptar à procura.

### **2.2.3. Produção unitária**

Na abordagem organizacional de produção unitária ou em pequenas séries, os sistemas são projectados para lidar com os requisitos do paradigma da produção não repetitiva. Isto significa que uma grande variedade de produtos devem ser produzidos no mesmo sistema. Este deve ser muito flexível, explorando o uso de equipamento versáteis, com os produtos a visitarem *stand-alone workstations* ou secções funcionais ou ambos, numa forma aleatória, de acordo com os requisitos de produção de cada produto. Equipamentos programáveis flexíveis *stand-alone* e máquinas universais de atendimento permanente ou não, são frequentemente usadas, razão pela qual é, por vezes, designada de produção flexível. A programação é crítica para conseguir os objectivos e coordenação de produção.

Normalmente, os operadores executam as mesmas operações, essencialmente tarefas preparatórias e de supervisão e de controlo dos ciclos operatórios, em máquinas semelhantes, podendo-se falar em um operador vários postos de trabalho, com o objectivo de que os equipamentos tenham utilização permanente ou elevada.

### **2.2.4. Produção magra**

A abordagem organizacional produção magra foca-se na eliminação do desperdício e na ideia constante conducente a esta eliminação, o chamado *lean thinking* (Womack e Jones, 1996). Este conceito evoluiu da designação *lean manufacturing* usada por Womack, Jones e Roos (Womack et al., 1990) numa investigação sobre as práticas dos fabricantes de automóveis japoneses e ocidentais. A produção magra foi, assim, inicialmente explorada pelas fábricas de automóveis da Toyota sob a designação de *Toyota Production System* (TPS) nos finais da década de 40 (Monden, 1983) e baseia-se nos princípios e técnicas da produção Just-in-Time (JIT), que pode ser sintetizada no objectivo de produzir apenas o necessário na quantidade necessária e no período necessário, e na melhoria contínua (Suzaki, 1993). Uma evolução do TPS a uma abordagem de intensificação de colaboração entre empresas, desde o projecto à entrega, foi referida como *Lean Extended* (Schonberger, 2005).

Desperdício é tudo aquilo que não contribui directamente para adicionar valor ao

produto na perspectiva das necessidades do cliente. Na prática, esta abordagem é uma resposta ao paradigma de produção repetitiva, normalmente atendendo às previsões de procura e às encomendas dos clientes. A produção magra organiza a produção de tal forma que um grupo de produtos são ciclicamente produzidos de acordo com um plano de produção, de uma forma misturados, no mesmo sistema de produção, a uma taxa diária idêntica à taxa da procura diária do produto. O plano de produção é estabelecido para períodos de planeamento que normalmente variam de poucos dias a poucas semanas, de acordo com a estabilidade da procura e a complexidade do produto. No final do período são necessários alguns ajustamentos de reconfiguração do sistema para se adaptar às mudanças no plano de produção de produtos misturados, resultado das variações na procura e da introdução de novos modelos.

A produção magra pode ser vista como uma tentativa de aplicação do paradigma da produção em massa e, mais especificamente, do nivelamento do fluxo uniforme de produção desde a matéria-prima à entrega ao ambiente de produção repetitiva. Sahin (2000), por exemplo, considera mesmo que a produção magra é um melhoramento do paradigma de produção em massa cujo sucesso depende em parte da razoável estabilidade do ambiente de mercado. Esta abordagem organizacional relaciona-se claramente com a instância do paradigma da produção repetitiva de fluxo uniforme (PRFU) apresentado.

Objectivos importantes da produção magra são atingir elevada produtividade, ao mesmo tempo, que sincronizam a produção com a procura para uma variedade de produtos; melhorar a qualidade e reduzir o custo de produção e tempos de entrega com um envolvimento intenso dos operadores (Lewis, 2000).

Os operadores executam operações inseridas em procedimentos normalizados que estudos prévios concluíram serem os mais correctos e eficientes, e devem ser seguidos para, por um lado, simplificar e facilitar a execução da tarefa, reduzindo os erros e confusão de como fazer, por outro lado, melhorar a aprendizagem e o desempenho de quem a faz através da clarificação e repetitividade da tarefa. Normalizar a sequência pela qual cada operador deve processar as operações é, no âmbito da produção JIT, o meio para atingir três objectivos: conseguir produtividade elevada através de trabalho eficiente sem movimentos desnecessários, atingir o balanceamento entre processos e operações de acordo com o tempo de ciclo da montagem final (determinado pelo

número de produtos a serem produzidos num dado período) e manter uma quantidade mínima de trabalho em curso de fabrico para eliminar excessivos stocks intermédios (Monden, 1983, e Black, 1991).

A implementação de procedimentos de trabalho normalizados e a procura da melhoria contínua desses procedimentos estão na origem do “*Kaizen*”, conceito estreitamente relacionado com a produção JIT, a produção magra, o controlo e a gestão da qualidade total (TQC<sup>4</sup> e TQM<sup>5</sup>) e SMED<sup>6</sup> (Shingo, 1985) e tornado popular com a publicação do livro em 1986 do autor M. Imai (Imai, 1986, em Berger, 1997) e reforçado no seu segundo livro (Imai, 1997).

O primeiro passo do ciclo da melhoria contínua é a normalização (Suzaki, 1993). Segundo este autor sem manutenção de normas não existe uma melhoria efectiva pois as normas ajudam a manter a posição atingida após uma melhoria. Ao estabelecer-se normas há um conjunto de objectivos que podem ser atingidos, nomeadamente a redução da variabilidade, a clarificação de procedimentos, a facilidade de comunicação e a resolução de conflitos, entre outros. Exemplos de normas são os quadros de controlo da produção e de controlo da qualidade, procedimentos de paragem da linha, níveis mínimos e máximos de stock.

Se esta implementação pode ser vista como uma vantagem, outros autores, nomeadamente Kovács e Castillo (1998) e Graça (2002a) vêem-na como uma desvantagem, principalmente quando aplicada como uma receita sem olhar ao meio sociocultural, originando alguns problemas tais como excesso de trabalho, marginalização dos trabalhadores menos capazes para desempenhos elevados (sobretudo idosos), degradação das condições de trabalho e contradição entre eficácia dentro das empresas e desperdício crescente de recursos em termos de economia regional e nacional.

### **2.2.5. Produção ágil**

A abordagem organizacional produção ágil identifica-se com a chamada *agile manufacturing* (Hormozi, 1994; Kidd, 1994). A designação produção ágil começou a ser usada com a publicação de um relatório do Instituto de Iacocca em 1991 sobre as

---

<sup>4</sup> Total Quality Control

<sup>5</sup> Total Quality Management

<sup>6</sup> Single Minute Exchange of Die

estratégias das empresas do século XXI<sup>7</sup> (Gunasekaran, 2001). Diferencia-se dos conceitos de produção flexível e de produção magra uma vez que sendo a flexibilidade e a eliminação de desperdícios, qualidades marcantes respectivamente de um e outro conceito, necessárias à produção ágil não são suficientes, porque a produção flexível não se reconfigura com a rapidez necessária para um ambiente de mercado que é muito diferente do ambiente estável da produção magra.

Huang e Nof (1999) referem que a agilidade da empresa deve ser acompanhada por agilidade nos sistemas de negócio, organizacionais, operacionais e logísticos e sem informação tecnológica a agilidade a todos os níveis é impossível. Kidd (1994) reforça a necessidade de uma metodologia que integra três elementos fundamentais para sustentar a produção ágil: organização, i.e., estruturas de gestão e organização inovadoras, pessoas constituindo uma base de conhecimento de aptidões e competências e tecnologia. A produção ágil remete para uma evolução no processo de flexibilização organizacional com uma focagem no serviço ao cliente e no produto que dão origem às empresas ágeis (Hooper et al., 2001). Este processo permite à empresa ágil adoptar um sistema de produção ou organização que signifique mais vantagem competitiva.

Kidd (1994) apresentou os conceitos nucleares e os princípios de concorrência da produção ágil identificados como: 1) estratégia para alcançar agilidade; 2) estratégia para explorar agilidade; 3) integração de organização, pessoas e tecnologia e 4) metodologia interdisciplinar de projecto e a) mudança contínua, b) resposta rápida; c) melhoria da qualidade; d) responsabilidade social; e) total focagem no cliente. Segundo o mesmo autor, as características da produção ágil são: 1) negócios integrados, 2) organização em rede de pessoas; 3) negócios baseados em grupos naturais; 4) melhor competência das pessoas; 5) focagem nas competências nucleares; 6) empresas ou organizações virtuais; 7) ambiente criativo e inovador; 8) pessoal flexível e polivalente; 9) trabalho em equipa; 10) grupos autónomos, *empowerment*; 11) gestão de conhecimento; 12) capacidade de uso e conhecimento de novas tecnologias; 13) gestão de risco e mudança.

A **agilidade** é a capacidade medida pela facilidade do sistema se adaptar à produção de diferentes produtos e/ou diferentes quantidades. A facilidade significa aqui rapidez e o custo de mudança. Um sistema tem total agilidade se a adaptação é instantânea e sem

---

<sup>7</sup> 21<sup>st</sup> Century Manufacturing Enterprise Strategy

custos de conversão por unidade de produto produzido significativos, i.e., independentemente do produto produzido anteriormente, o novo produto terá o mesmo custo de conversão. Um corolário da definição de agilidade é que tendo agilidade total nenhuma restrição é colocada à propensão para a personalização do produto, i.e., *mass customization* é possível. Outras definições podem ser encontradas em Sahin (2000) Ramasesh et al. (2001), Sanchez e Nagi (2001) e outros.

Esta abordagem relaciona-se, assim com a produção de produtos personalizados e, em particular com a personalização em massa. Por isto, esta abordagem identifica-se fortemente com o paradigma da produção não repetitiva. Dada a necessidade de agilidade, é um requisito para a produção ágil a cooperação entre redes de parceiros comunicando através da internet e intranets, estando a agilidade muitas vezes associada às empresas virtuais (Cunha e Putnik, 2006). Estes parceiros incluem quer os fornecedores quer os concorrentes.

Segundo Thomas e Pham (2004) para a criação de empresas capazes de responderem ao MC de uma maneira sustentada é necessário uma abordagem holística que vai além da integração das abordagens de produção magra e ágil. Estes autores designam tal abordagem de produção “*Fit*” que incluem, além das abordagens referidas, abordagens tecnológicas como o marketing e a encomenda *web-based*, CAD/CAM/CAE, ERP e abordagens operacionais como o TQC e TQM e manutenção produtiva total (TPM)<sup>8</sup>. Se se considerar que as empresas devem encontrar a combinação correcta de estratégias, cultura, práticas do negócio e tecnologia que são necessárias para a tornar ágil, tomando em consideração as características de mercado, como alguns autores consideram, nomeadamente, Gunasekaran e Yusuf (2002), esta abordagem “*Fit*” não parece trazer nada de novo pois a empresa ágil deve poder usar os recursos tecnológicos e organizacionais mais convenientes para a produção específica de um produto. Por exemplo, num ambiente estável com produção *lean*, a agilidade em todas as suas dimensões (tecnológica, organização e pessoas) pode parecer desnecessária mas deve atingir o seu grau máximo na dimensão humana e da organização.

---

<sup>8</sup> Total Productive Maintenance

### 2.3. MODELOS CONCEPTUAIS DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO

Os modelos conceptuais de sistemas de produção (MCSP) são definidos tendo em conta os paradigmas de produção e os requisitos de produção fundamentais determinados pela procura. Assim é necessário identificar variáveis conceptuais relacionadas com o sistema capazes de permitir uma clara caracterização e diferenciação de cada modelo conceptual. Foram seleccionadas cinco variáveis: variedade do produto, reconfigurabilidade dos sistemas, tipo de reconfigurabilidade, repetitividade do produto e continuidade do fluxo, cada uma instanciada a dois níveis. Estas duas últimas variáveis têm o significado já atribuído e descrito nos textos anteriores. Os valores alternativos das variáveis permitiu definir quinze modelos conceptuais de sistemas de produção, Figura 1.

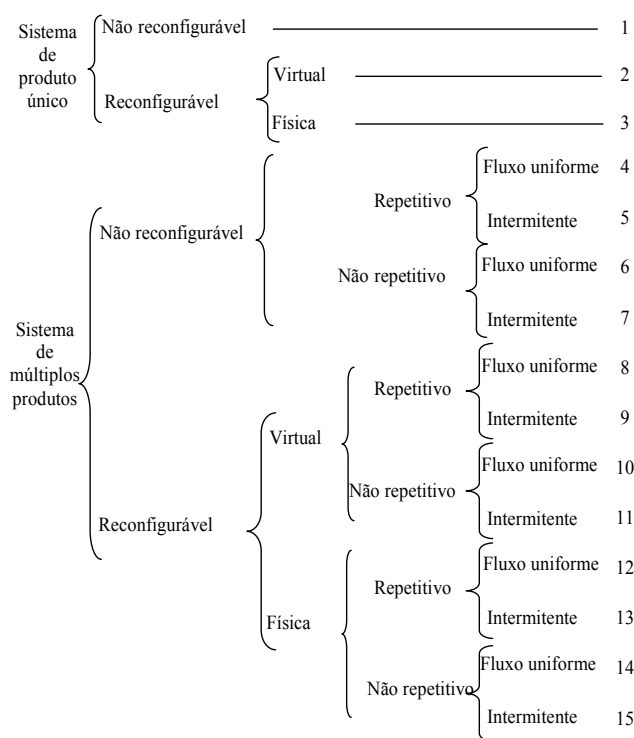


Figura 1. Modelos conceptuais de sistemas de produção

Relativamente à variedade do produto, apenas se distingue entre os modelos conceptuais de sistemas para a produção dedicada de um produto específico ou para múltiplos produtos. A *reconfigurabilidade dos sistemas de produção* pode ser definida como uma medida de facilidade para reconfigurar sistemas ou para mudar a organização para adaptação à mudança dos requisitos de produção. Esta reconfigurabilidade pode ser virtual ou física.



**Reconfigurabilidade virtual dos sistemas** é a capacidade de reconfigurar o sistema através de reafecção temporária de recursos de produção distribuídos disponíveis ou acessíveis, sem a sua deslocação física. Esta afectação prevalece enquanto é produzida a quantidade do produto encomendado. Recursos distribuídos significa que são recursos separados e autónomos, i.e. controlam os seus próprios processos (Lima e Silva, 2002). Assim os recursos podem estar distribuídos num único e específico espaço localizado ou no extremo, no espaço global.

A reconfiguração virtual pode ser baseada numa plataforma informacional *web* ou, simplesmente, numa plataforma informacional interna da empresa. Neste último caso os recursos da empresa são virtualmente e temporariamente afectados e dedicados à produção de um produto ou de uma família de produtos.

A **reconfigurabilidade física dos sistemas de produção** significa que os recursos de produção são deslocados das suas localizações iniciais e fisicamente rearranjados num local para melhor se adaptarem aos requisitos de produção que mudaram. Importantes medidas de adequação procuram linearizar ou, pelo menos, simplificar o fluxo de trabalho durante a produção. A reconfiguração pode ser realizada com base numa encomenda de produção ou feita, regularmente por intervalos de tempo ou, ainda sempre que uma importante mudança da procura aconteça.

O relacionamento entre os paradigmas de produção, as abordagens organizacionais e os quinze modelos conceptuais de sistemas de produção está apresentado na Tabela 1. Estes modelos são, depois, relacionados com alguns sistemas de produção encontrados.

O MCSP1 é, por excelência, o modelo conceptual associado com o paradigma e abordagem da produção em massa. As linhas de montagem de automóveis tradicionais concretizavam este modelo mas pelas razões já enunciadas, secção 2.2.1., estas percorreram outro caminho mais no sentido da abordagem da produção magra. O MCSP1 é, no entanto, concretizado ainda no fabrico de peças em linhas de transferência dedicadas (DTL)<sup>9</sup> e produtos derivados da indústria de processo.

---

<sup>9</sup> Dedicated Transfer Lines

**Tabela 1. Relacionamento entre modelos conceptuais de sistemas de produção, paradigmas, abordagens organizacionais e sistemas de produção**

MCSP	Paradigma de produção (1)	Abordagem organizacional	Previsibilidade do mercado	Quantidade (por produto encomendado)	Variedade do produto	(2)	Reconfig.	Propensão personalização produto	Exemplo SP
1	M	Massa	Estável	Grande	Nenhuma	U	Nenhuma	Nenhuma	DTL
2	NRep.	Ágil	Turbulento	Médio	Pequena	U	Virtual	Elevada	EV
3	NRep.	Ágil	Imprevisível	Médio	Pequena	U	Física	Média	Projecto
4	Rep.	Magra	Previsível	Médio	Pequena	U	Nenhuma	Baixa	TPS/IMPS
5	Rep.	Lote	Previsível	Médio	Pequena	I	Nenhuma	Baixa	FMS
6	NRep.	Ágil	Imprevisível	<i>One-of-a-kind</i>	Grande	U	Nenhuma	Média	QRM
7	NRep.	Unitária	Imprevisível	<i>One-of-a-kind</i>	Grande	I	Nenhuma	Média	Job-shop
8	Rep.	Ágil	Imprevisível	Pequena	Médio	U	Virtual	Média	CV
9	Rep.	Lote	Imprevisível	Pequena	Médio	I	Virtual	Média	FMS
10	NRep.	Ágil	Turbulento	<i>One-of-a-kind</i>	Grande	U	Virtual	Elevada	SPD (3)
11	NRep.	Ágil	Turbulento	<i>One-of-a-kind</i>	Grande	I	Virtual	Elevada	SPD (3)
12	Rep.	Magra	Imprevisível	Pequena	Grande	U	Física	Média	TPS/IMPS
13	Rep.	Lote	Imprevisível	Pequena	Médio	I	Física	Média	MPS/RMS
14	NRep.	Ágil	Turbulento	<i>One-of-a-kind</i>	Grande	U	Física	Elevada	SPA (4)
15	NRep.	Ágil	Turbulento	<i>One-of-a-kind</i>	Grande	I	Física	Elevada	SPA (4)

(1) Paradigma de produção: M – Massa; NRep. – Não repetitiva; Rep. - Repetitiva

(2) Fluxo: U - Uniforme, I – Intermitente

(3) SPD: sistema de produção distribuído

(4) SPA: sistema de produção ágil

Uma DTL (Groover, 1980) compreende um número de postos de trabalho sequencialmente organizados numa implantação em linha. Os postos estão fisicamente localizados nos lados de um sistema de transporte automatizado, por exemplo, um transportador de correia. A linha transfer é sincronizada, i.e. depois de fixadas as peças todos os postos iniciam o seu processo de maquinagem. Este processo é repetido em todos os postos até que todas as operações do produto ou peça sejam realizadas. A alimentação contínua de peças faz-se no primeiro posto que executa a primeira operação. Ao mesmo tempo, do último posto retira-se o produto transformado. Uma DTL não faz produtos ou peças diferentes por isso este tipo de sistema é rígido, i.e. incapaz de lidar com variações do tipo de produto.

Tanto o MCSP2 e MCSP3 representam o paradigma de produção não repetitiva mas sendo o sistema de produto único, esta produção requer reconfigurabilidade dos sistemas, num virtual e no outro física.

A dedicação temporária do sistema a um produto à custa da reconfigurabilidade virtual (MCSP2) identifica-se com o que tem sido designado de empresa virtual (EV), empresa estendida (EE) ou em rede (Staffend, 1992; Rabelo e Camarinha-Matos, 1996; Camarinha-Matos et al., 1997; Villa, 1998; Camarinha-Matos e Afsarmanesh, 1999; Ratchev et al., 2000; Löh et al., 2000; Camarinha-Matos, 2001; Martinez et al., 2001;

Klen et al., 2001; Lee et al., 2003; Bititci et al., 2004; Camarinha-Matos e Afsarmanesh, 2004 e Putnik e Cunha, 2005). Todas se baseiam em relações flexíveis e dinâmicas entre empresas e constituem-se temporariamente (EV) ou de uma forma mais ou menos fixa (EE) integrando várias unidades de negócio dispersas para explorar uma oportunidade de mercado (fabrico de um produto, prestar um serviço,...). Estas organizações só são possíveis e tornadas realidade através do suporte das tecnologias de informação e de comunicação (TIC) como a troca de dados electrónica, *intranets* e *internet* em condições que possam ser utilizadas quando e onde necessário sem quaisquer receios, i.e., em tempo útil e com um custo adequado (Upton e McAfee, 1996).

Numa empresa virtual a empresa é vista como uma fase no processo de adicionar valor económico aos produtos e não propriamente um local físico (Drucker, 1990). Neste contexto também o *one-product-integrated-manufacturing* (OPIM) pode ser a concretização do MCSP2. O OPIM utiliza recursos disponíveis no mercado, distribuídos globalmente, para criar um sistema eficiente de produção dedicado a um produto e que se dissolverá após a conclusão da tarefa OPIM (Putnik e Silva, 1995). A tarefa OPIM é a produção do produto enquanto o mercado o justificar e houver viabilidade económica. O projecto e o processo produtivo de um produto são decompostos numa sequência de tarefas específicas. O domínio para a selecção dos recursos é o conjunto de todas as máquinas, sistemas de manuseamento/transporte, computadores ou células capazes de realizarem as tarefas necessárias, ligados através de redes de comunicação.

A reconfiguração física do MCSP3 pode estar associada à produção de produtos de grandes dimensões como navios e aviões ou produtos construídos em locais permanentes como casas e estradas. Sempre que um produto vai ser produzido todos os recursos são reunidos, no fim da produção tudo é desmontado e movimentado para outro local ou tem lugar a produção de um novo produto. Este modelo está normalmente associado à chamada implantação fixa ou por projecto.

Os modelos MCSP4 e MCSP12 cuja abordagem organizacional é a produção magra encontram a sua concretização nos já discutidos TPS, secção 2.2.4., e no *integrated manufacturing production system* (IMPS) que é a designação atribuída por Black (1991, 2001) ao TPS. O autor considera que a utilização de sistemas de produção integrados é

uma estratégia para a “fábrica com futuro” (FWAF)<sup>10</sup>. A base desta estratégia é o *linked-cell manufacturing system* (L-CMS) que é um sistema de produção composto por células de fabricação e montagem articuladas por controlo *pull*.

A produção em lotes é a abordagem organizacional dos modelos MCSP5, MCSP9 e MCSP13 que explora além dos sistemas de produção em lotes tradicionais, os já apresentados FMS e, possivelmente, em particular, o MCSP13, outros sistemas como o *modular production system* (Rogers e Botacci, 1997) e o *reconfigurable manufacturing system* (Koren et al., 1999; Mehrabi et al., 2000; Xiaobo et al., 2000, 2001; DeGaspari, 2002, e Fukaya, 2004). Estes podem ser usados mantendo-se a configuração do sistema enquanto se produz um produto e reconfigurando-o quando muda pois segundo os promotores destes sistemas esta reconfiguração é rápida e de baixo custo devido às suas características descritas a seguir.

O *modular production system* (MPS) é um sistema de produção automatizado construído a partir de uma selecção de módulos normalizados baseados num conjunto reduzido de elementos de produção “primitive” com funções próprias. Tais elementos são máquinas, sistemas de manuseamento e/ou transporte, ferramentas, dispositivos de posicionamento e fixação e sistemas de controlo. Para que o sistema funcione, a integração destes módulos é indispensável.

O *reconfigurable manufacturing system* (RMS) também é construído a partir de módulos. Os módulos são os componentes do sistema e podem ser máquinas e transportadores, mecanismos para as máquinas, sensores e algoritmos para os controladores. Quer o *hardware* quer o *software* de tal sistema são projectados para rápida mudança na estrutura, i.e. são reconfiguráveis através dos módulos básicos que constituem o *hardware* e através de arquitectura aberta do *software*.

O MCSP7 está implementado na chamada *job-shop* neste trabalho designado de Sistemas de Produção Orientado à Função (SPOF) descritos na secção seguinte, secção 2.4.1..

Oito dos modelos conceptuais que representam a produção não repetitiva, sete são adequados para a produção ágil. Destes sete modelos apenas o MCSP6 não requer reconfigurabilidade. Este pode ser o caso do sistema avançado por Suri (1998) inserido na abordagem *Quick Response Manufacturing* (QRM). A resposta rápida ao cliente é a

---

<sup>10</sup> Factory With a Future

base da estratégia *time-based competition* que se fundamenta na utilização da rapidez como uma vantagem competitiva, entregando os produtos ou serviços mais rápido que os concorrentes. O sistema é projectado para produtos em pequena quantidade bastante personalizados com diferentes especificações ou para um grande número de produtos com procura variável para cada um. Segundo este autor, QRM vai além dos objectivos e capacidades do sistema JIT pois o seu principal objectivo é a redução dos tempos de entrega enquanto que JIT procura a melhoria contínua através da eliminação dos desperdícios para melhorar a qualidade, reduzir o custo e, conseqüentemente, os tempos de entrega.

As decisões tomadas na empresa QRM sobre a capacidade são baseadas em abordagens *time-based* em vez de *cost-based*. Significa isto que na empresa reconhece-se que existe um compromisso entre capacidade e tempo de entrega, podendo assim determinar a capacidade ideal para atingir o tempo de entrega objectivado requerido para a competitividade. Assim, em vez de focar a capacidade como orientação e o tempo de entrega como resultado, este passa a ser o condutor e a capacidade o resultado. O tempo morto de máquinas e pessoas é visto como uma oportunidade para actividades de melhoria contínua ou formação. Uma empresa com abordagem *cost-based* num ambiente de mercado crescente tem sempre menos capacidade do que aquela que necessitaria, resultando daqui longos tempos de entrega. Na empresa QRM existe capacidade para assegurar que os tempos de entrega são cumpridos, havendo ainda possibilidade para expandir o mercado. Esta capacidade acima da procura é vista como um investimento. Estas são apenas algumas implicações desta abordagem (Suri, 1998) mas que permitem fazer dela um caminho possível para a produção ágil.

Adicionalmente a estes sete mas num paradigma de produção repetitiva tem-se o MCSP8 que configura um sistema de produção reconfigurável virtual que produz vários produtos diferentes simultaneamente numa produção nivelada de fluxo misturado uniforme. Este sistema introduzido por McLean, Bloom e Hopp em 1982 (McLean et al., 1982) e, posteriormente, desenvolvida por outros autores, entre os quais, Drolet e Moodie (1989), Irani et al. (1993), Rheault et al. (1995), Vakharia et al. (1999), Ko e Egbelu (2003), Drolet et al. (2003), Slomp et al. (2005) e Suresh e Slomp (2005) é aqui designado de células de produção virtual, descritas detalhadamente na secção 3.4.4..

Um conceito também similar é o conceito de “*virtual factory*” (Kim, 1990). Este autor considerou os seguintes objectivos para este sistema: “1. *manufacture from 1 to 1000 products simultaneously*; 2. *accomodate lot sizes from 1 to 1000000* and 3. *the new generation manufacturing system should reconfigure for a new product within 1 second*”, este último para conseguir realizar os objectivos 1 e 2.

Nos modelos restantes - MCSP10, MCSP11, MCSP14 e MCSP15 - podem ser explorados sistemas de produção ágil - SPA. São poucos os autores que definem sistemas de produção ágil mas Chan e Zhang (2001) dão a seguinte definição: um sistema de produção ágil é um sistema construído a partir de blocos de construção básicos, *hardware* e *software*, que rapidamente e com fiabilidade pode ser reconfigurado. Esta definição assemelha-se às definições MPS e RMS já discutidos, aceitando-se aqui que também estes podem ser concretizações dos modelos de produção ágil fisicamente reconfiguráveis.

Além destes, e principalmente na indústria de fabricação de peças para automóveis, outros sistemas considerados ágeis têm sido avançados como o *Quantum Agile Manufacturing* (Q’@gile) (Moreira e Weston, 2005; Moreira, 2005) e o *Cross Huller agile system* (Cross Huller, 2006). Ambos se baseiam em centros de maquinagem CNC com magazines de ferramentas e mudança automática destas, com o carregamento, manuseamento e transporte das peças também automático. O objectivo de tais sistemas é fornecerem soluções rápidas e de custo reduzido a alterações do mercado.

A reconfiguração virtual dos sistemas de produção ágeis pode ser conseguida através das empresas virtuais já referidas como defendem Sanchez e Nagi (2001). Porque as empresa virtuais estão intimamente relacionadas com a distribuição global de recursos também aqui podem ser explorados os chamados sistemas de produção distribuídos – SPD - (Putnik et al., 1998; Tharumarajah, 2001; Leitão e Restivo, 2001; Barata et al., 2001, e Lima e Silva, 2002), assim designados pela distribuição física e lógica dos seus recursos: materiais, pessoas, meios de produção, logísticos, informação, tomada de decisão e controlo. Podem definir-se como uma rede de elementos autónomos de processamento, com a possibilidade de reconfiguração dinâmica do sistema produtivo (Lima, 2003). Estes elementos são autónomos, cooperantes entre si e capazes de se auto-organizarem porque a distribuição não é apenas dos materiais, meios de produção e pessoas mas também da informação e do controlo, estando estes elementos munidos

com a informação necessária para tomarem as decisões e agirem sem intervenção de outros.

Exemplos destes sistemas são os sistemas de produção fractais, holónicos e biónicos. Estas estruturas diferem na forma como os aspectos arquitecturais de cada uma são usados para descrever e projectar os sistemas e na sua origem (Tharumarajah et al., 1996; Anderson e Bunce, 2000). O sistema fractal surgiu pela analogia com a Geometria fractal (Gleick, 1988, em Tharumarajah et al., 1996) e foi adaptada para a produção por Warnecke (1993), podendo produzir um produto ou fornecer um serviço. O sistema biónico surgiu pela analogia com as células biológicas (Okino, 1989, em Tharumarajah et al., 1996). O sistema holónico deriva da palavra “Holon” que significa *holos* (palavra grega para o todo) mais o sufixo *on* que sugere parte ou partícula (em analogia com o *neutron* ou *proton*) (Koestler, 1967, em Tharumarajah et al., 1996).

Estes sistemas são normalmente representados e configurados usando a tecnologia de agentes (Caplinskas, 1998) possibilitando a autonomia, distribuição, comunicação e colaboração que os caracterizam (Kádár et al., 1998; Shen et al., 2001; Sun et al., 2001; Leitão e Restivo, 2001; Barata et al., 2001, e Leitão et al., 2001). A aplicação desta tecnologia nos sistemas de produção (Jennings, 1994) começa a ser tão comum que alguns autores, nomeadamente, Huang e Nof (2000) designam os sistemas de produção que incluem esta tecnologia de *agent-based manufacturing system* (ABMS).

## **2.4. CONFIGURAÇÕES GENÉRICAS DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO**

Nas secções anteriores classificou-se a produção atendendo a factores tais como a previsibilidade de procura, a quantidade de artigo a fabricar de uma vez, a natureza dos produtos ou objectos sujeitos a transformação e a continuidade de fluxo de produção ou de materiais. Apesar das diferenças que distinguem os sistemas de produção, quando vistos na aceção do seu arranjo ou implantação organizacional podem enquadrar-se em duas classes genéricas, nomeadamente a dos Sistemas de Produção Orientados à Função (SPOF) e a dos Sistemas de Produção Orientados ao Produto (SPOP). São instâncias desta classe as subclasses das linhas de produção e das oficinas de produção orientadas ao produto. As chamadas *células de produção* são arranjos que configuram tanto linhas de produção como oficinas de produção orientadas ao produto, ou, ainda como uma

hibridação destes dois conceitos (Carmo-Silva, 2006), podendo no extremo resultar de um arranjo à volta de uma única máquina ou posto de trabalho.

As configurações de sistemas de produção estão associados ao tipo de orientação dos fluxos de produção que se podem identificar. Na Figura 2, adaptada de Aneke e Carrie (1986) propõe-se uma classificação do tipo de orientação dos fluxos de produção relevantes para caracterizar as configurações de sistemas de produção. Estes fluxos aparecem, normalmente, de forma combinada nos diferentes sistemas de produção constituídos por dois ou mais postos de trabalho ou máquinas complementares, i.e. que se completam no processamento dos artigos.

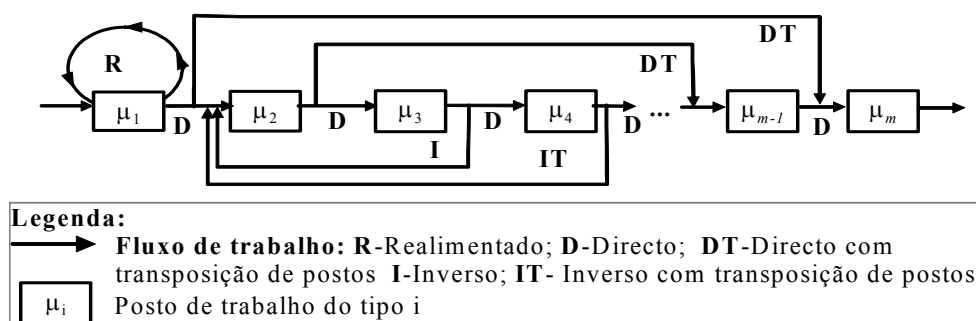


Figura 2. Tipo de orientação de fluxos de produção

A dicotomia de um sistema de produção ser organizado num conjunto de sistemas de produção cada um concebido para a produção de um dado produto ou ser organizado funcionalmente para produzir qualquer produto que a empresa produza, conduz-nos respectivamente às duas configurações genéricas identificadas: SPOP e SPOF. No primeiro caso em cada SPOP a implantação dos processos do sistema de produção segue as fases de transformação requeridas para produzir o produto. No SPOF, para dar resposta à natureza diferenciada do processo produtivo de cada produto propõe-se o arranjo funcional do sistema.

#### 2.4.1. Sistemas de Produção Orientados à Função (SPOF)

Em certos ambientes de produção existe uma elevada variedade de artigos requerendo cada um, uma sequência operatória diferente que identifica cada produto, i.e. cada tipo de produto, como único sob o ponto de vista de produção. Produzir vários produtos num único sistema exige deste flexibilidade capaz de lidar com esta diversidade e complexidade operatória. Isto tem remetido para sistemas de produção que utilizam equipamentos versáteis e universais, tipicamente organizados de forma independente e



em secções funcionais, por forma a que, sem restrições, possam tratar tal diversidade, complexidade e variedade. Em cada secção funcional realiza-se um único tipo de processo ou função de transformação, Figura 3, adaptada de Silva e Alves (2004).

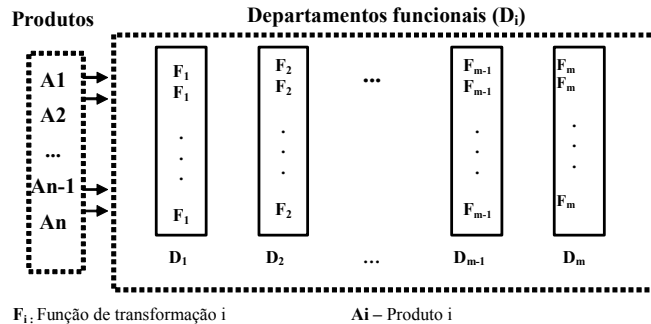


Figura 3. Organização baseada na configuração genérica de SPOF

Os sistemas de produção assim organizados são, normalmente, designados de sistemas de produção orientados à função ou ao processo, ou simplesmente sistemas funcionais e identificam-se com o modelo conceptual de sistema de produção 7 (MCSP7), referido na secção 2.3.. Nestes sistemas, a produção é, normalmente, organizada em pequenos lotes que fluem intermitentemente pelo sistema de produção, de secção funcional em secção funcional, cada uma com várias máquinas ou postos de trabalho equivalentes, numa rede complexa de fluxos, sendo frequente o seu retrocesso a secções por onde já tenham passado. Isto significa que perante uma organização sequencial de secções funcionais a existência de fluxos inversos de materiais é frequentemente necessária. Tal inversão é vulgar quando as sequências operatórias dos diversos produtos em produção não correspondem ao arranjo sequencial das secções no espaço fabril o que tende a acontecer quando os artigos têm sequências operatórias diferentes.

Apesar da existência de fluxos inversos é normal explorar sequências de fabrico predominantes ou parciais na implantação relativa das secções funcionais ajustadas às sequências operatórias dos produtos. Esta exploração tem em vista precisamente a minimização de fluxos inversos perturbadores de um fluxo de produção contínuo e racional. Apesar de tal exploração a total eliminação de fluxos inversos, perante a diversidade de sequências operatórias, não é normalmente possível. Este facto associado à variedade de artigos a processar torna os sistemas funcionais ineficientes, pouco eficazes e difíceis de controlar. Surgem assim dificuldades diversas, entre as quais, a complexidade de identificação, seguimento e controlo do fluxo dos materiais, níveis elevados de trabalhos em curso e tempos em curso de produção longos e imprevisíveis.

Assim são de esperar níveis baixos de serviço ao cliente com frequentes quebras de compromisso de entregas, além de ineficiência de utilização dos recursos de produção, nomeadamente, máquinas, materiais, pessoas e energia.

Uma forma comum de atenuar as dificuldades de entrega atempada dos artigos encomendados consiste em manter stocks de produtos acabados ou em curso de fabrico com base na antecipação da procura. No entanto, isto só é economicamente viável em situação de produção repetitiva de uma pequena variedade de produtos ou componentes em ambiente previsível de procura. Crescendo a variedade e a imprevisibilidade os benefícios desta política tendem a deteriorar-se e, perante uma situação de produção não repetitiva, não pode mesmo ser aplicada.

Teoricamente, um SPOF pode produzir quaisquer produtos que partilhem as suas unidades funcionais. Esta versatilidade é apontada como a principal, senão a única vantagem ou ponto forte destes sistemas. No entanto, pode também ser vista como a sua principal fraqueza. Tal é, particularmente, verdade se vários produtos tiverem de partilhar ao mesmo tempo os recursos do sistema. Esta simultaneidade de processamento de diferentes produtos cria complexidade de controlo, perturbação de fluxos produtivos e esperas de processamento que claramente contribuem para a ineficiência e ineficácia dos SPOF quando comparados com os SPOP, tanto ao nível do serviço ao cliente como ao nível da operacionalidade do sistema. Aliás, por tal facto, a configuração SPOF tem sido considerada obsoleta por vários autores, entre os quais, Ashton e Cook (1989) e Burbidge (1992).

Alguns autores procuram colmatar algumas das desvantagens do SPOF propondo arranjos alternativos com a distribuição das máquinas por vários locais estratégicos do espaço fabril, designando tais arranjos de arranjos distribuídos, fractais e holográficos – *holographic* - (Benjaafar et al., 2002, Drolet e Moodie, 1989, 1996, Montreuil et al., 1999). O termo holónico – *holonic* - é utilizado por Askin et al. (1999) para designar o arranjo holográfico.

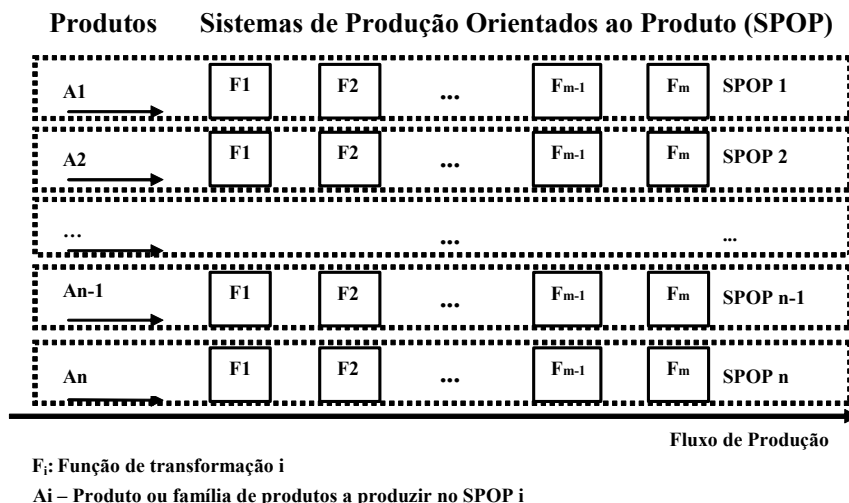
Os arranjos fractais baseiam-se, fundamentalmente, nos processos ou funções de um arranjo funcional. Numa lógica de reorganização de um sistema funcional, as secções funcionais são completamente desagregados das suas máquinas, sendo estas distribuídas pelo espaço produtivo, i.e. diz-se colocadas aleatoriamente no fractal. Os arranjos fractais podem assumir muitas formas devido à composição e disposição das máquinas,

ao nível de interacção entre fractais, a distribuição dos tipos de produtos pelos fractais e o nível de capacidade dos fractais. Por exemplo, num fractal puro todos os arranjos são iguais, i.e. todos têm a mesma composição de máquinas e dispostas nas mesmas posições e são capazes de processar todas as peças (Saad e Lassila, 2004). Neste caso assume-se grande versatilidade das máquinas ou pouca variedade de operações.

Num arranjo holográfico ou holónico a distribuição das máquinas iguais é máxima, colocadas o mais longe possível umas das outras para assegurar a proximidade das máquinas diferentes e permitir para um produto novo a identificação fácil de um roteiro sem necessitar de uma reconfiguração do sistema. Podia-se com substância afirmar que esta abordagem pretende criar sistemas de produção que não necessitam de ser reconfigurados para se adaptarem a diferentes produtos. É uma interessante proposta teórica cuja validade prática tem sido testada e continua a ser estudada, juntamente com as características, vantagens e desvantagens de tais arranjos, em Benjaafar et al. (2002), Drolet et al. (1989, 1996a), Montreuil et al. (1999) e Askin et al. (1999) e Saad e Lassila (2004).

#### **2.4.2. Sistemas de Produção Orientados ao Produto (SPOP)**

Características únicas dos arranjos orientados ao produto são, numa perspectiva, a sua dedicação a um número muito menor de artigos e, naturalmente, a sua menor dimensão. Noutra perspectiva é a orientação da organização produtiva de tal forma que os artigos que são similares, i.e. usam o mesmo ou similar processo de transformação, são produzidos conjunta e organizadamente. Ambas as perspectivas claramente reduzem a diversidade de fluxos e a complexidade de controlo, tornando os sistemas de produção mais eficientes em muitas dimensões. É claro que, numa visão estática de concepção de sistemas, vários subsistemas orientados ao produto poderiam ter de ser configurados para lidar com a diversidade de artigos a transformar. Em qualquer caso, e principalmente, numa lógica de reconfiguração do sistema para ajuste à variação da procura seria mais fácil controlar vários sistemas pequenos e independentes do que um grande sistema equivalente como é o caso do sistema funcional equivalente. A Figura 4 ilustra como, partindo do mesmo universo teórico de meios de produção usados na configuração genérica SPOF, se pode chegar a uma organização em Sistemas de Produção Orientados ao Produto.



**Figura 4. Organização baseada na configuração genérica de SPOP**

A visão teórica da Figura 4 remete-nos para SPOP que na prática resultam da integração e interação de um conjunto de subsistemas, com grande autonomia e independência, cada um dos quais constituído por um conjunto de equipamentos ou postos de trabalho complementares para a execução de várias fases de fabrico de um produto ou de vários produtos similares, normalmente referidos como *células de produção*.

Também as células de produção são caracterizadas pelos fluxos de trabalho entre postos, quer simples ou combinados, ilustrados na Figura 2. Se se verificar apenas fluxo directo, i.e. se todos os produtos visitarem obrigatoriamente, no seu processo de transformação, todos os postos de trabalho organizados e dispostos sequencialmente de acordo com uma sequência operatória comum, a célula é claramente uma linha pura – *pure flow shop* (Baker, 1974). Portanto, neste caso todos os produtos têm igual número e o mesmo tipo e sequência de operações de transformação. Se os produtos, por não necessitarem de todas as operações que a linha pode processar, transpuserem, no mesmo sentido de transformação, alguns postos diz-se que a célula é uma linha de produção não pura referida frequentemente como geral ou linha com fluxo de transposição. Se os produtos para fazerem uma dada operação precisarem de voltar a um posto que já tenham transposto ou passado diz-se existir fluxo inverso, podendo as células serem designadas de células de fluxo inverso ou oficinas de produção – *job shops* - orientada ao produto. Este fluxo, que não existe nas linhas é o resultado de sequências operatórias diferentes dos vários produtos similares, referidos como uma família, fabricados na célula.

### **2.4.3. Abordagens à formação de células e SPOP**

Na óptica da produção, uma *família de produtos* pode entender-se como um conjunto de produtos que apresentam similaridades importantes de fabricação, montagem e/ou manipulação. São exemplos de características de similaridade relevantes ao processo de fabrico ou montagem, a forma geométrica, as dimensões e os materiais, entre outras.

A formação de famílias de produtos, ou dos seus componentes, com vista ao seu processamento similar é o objectivo principal da Tecnologia de Grupo (TG) - “*Group Technology*” (GT) – quando aplicada à produção:

*“Group Technology is a technique for identifying and bringing together related or similar components in a production process in order to take advantage of their similarities by making use of, for example, the inherent economies of flow-production methods.”* (Gallagher e Knight, 1973)

O conceito Tecnologia de Grupo foi proposto nos anos cinquenta do século passado no título de um estudo sobre a relação entre a forma de determinado produto ou componente e os respectivos métodos de fabrico, dirigido a associar produtos ou componentes de formas semelhantes para serem trabalhados nos mesmos equipamentos, de modo a reduzir os tempos de preparação (Mitrofanov, 1959).

Mais tarde os princípios da TG são aplicados ao agrupamento de máquinas complementares para, por si só produzirem totalmente ou em grande parte um produto ou família de produtos similares (Valente, 1994). A este agrupamento de máquinas dá-se o nome de Célula de Tecnologia de Grupo (CTG). Este conceito teria surgido na indústria metalomecânica como forma de reorganização de sistemas de produção normalmente organizados de forma funcional. Gallagher e Knight (1973) veio propor o arranjo em CTG como uma alternativa vantajosa ao arranjo funcional em muitas situações.

Burbidge (1989) refere ainda que o objectivo da TG é “*to form small organizational units which complete all the set (or family) of products or components which they make, through one or a few major processing stages, such as metal founding, machining and assembly, and are equipped with all the machines and other processing equipment they need to do so.*”

Este objectivo remete, claramente, para a organização de recursos dedicados em pequenas unidades organizacionais, i.e. células, com grande autonomia de processamento. Este tipo de organização em células é inerente aos Sistemas de Produção Orientados ao Produto (SPOP) focados neste trabalho.

Ainda que a aplicação da TG seja uma forma de identificar células relevantes à constituição do SPOP, há outros princípios ou estratégias de lá chegar. O mais directo tem a ver com a dedicação pura e simples do sistema ao produto, na base dos requisitos de transformação, sem considerações de TG ou uso de células previamente estabelecidas, um pouco à semelhança do que se faz para o caso da produção em massa. A formação das células pode realizar-se também, sem se recorrer de forma explícita, intencional ou extensiva à TG, à exploração dos arranjos distribuído, fractal e holográfico já referidos na secção 2.4.1.. Askin et al. (1999), inclusive, designa de células de produção os fractais projectados para uma família de peças e Montreuil et al. (1999) usa o termo células fractais para zonas no espaço fabril capazes de produzir a maioria dos produtos.

Al-Mubarak et al. (2003) e Canel et al. (2005) entre outros, designam de “*focused cellular manufacturing*” as células que não adoptam de forma explícita e directa o princípio da TG.



### 3. SISTEMAS DE PRODUÇÃO ORIENTADOS AO PRODUTO (SPOP)

Neste capítulo apresenta-se a definição de SPOP e são abordadas estratégias facilitadoras da concepção e reconfiguração de SPOP, algumas já referidas no capítulo anterior, para conseguir obter rápida e economicamente soluções eficazes e viáveis de configurações de SPOP. Estes são constituídos por configurações operacionais de células que são instâncias das configurações conceptuais descritas também neste capítulo. Finalmente, são referidas vantagens e aplicação das células já que estas são, por excelência, a configuração operacional comumente assumida no SPOP.

#### 3.1. DEFINIÇÃO

Está-se agora numa posição capaz de apresentar uma definição de SPOP compatível com a envolvimento e objectivos perseguidos neste trabalho de investigação. Assim, define-se um *Sistema de Produção Orientado ao Produto* (SPOP) como um sistema de produção constituído por um conjunto interligado de recursos e/ou células de produção dedicado à produção coordenada e sincronizada das fases de fabricação e/ou de montagem de um produto ou família de produtos similares. A reconfiguração frequente de um SPOP adapta-o a outro produto ou família de produtos. Esta adaptação visa o melhor ajuste do sistema às necessidades de produção e resulta da variação da procura e requisitos de mercado, para permitir vantagens ao sistema de produção como a de ser rápido a produzir, permitir boa qualidade e fazer uma boa utilização dos recursos. Face à definição dada pode-se representar um SPOP como ilustrado na Figura 5.

No contexto de SPOP, um produto pode ser simples, como uma peça, ou composto constituído por várias peças ou componentes, com uma estrutura envolvendo vários níveis, representável por uma nomenclatura multinível de produto (Ribeiro, 2001). Podem ser definidos como:

- **Produto simples** é constituído por um único item, comprado ou produzido a partir de matéria-prima e mantém a sua unicidade após transformação. Esta é realizada através de um processo que não inclui montagem ou qualquer espécie de união de dois ou mais itens.
- **Produto composto** é constituído por dois ou mais produtos simples, comprados ou produzidos, unidos por operações de montagem ou união.



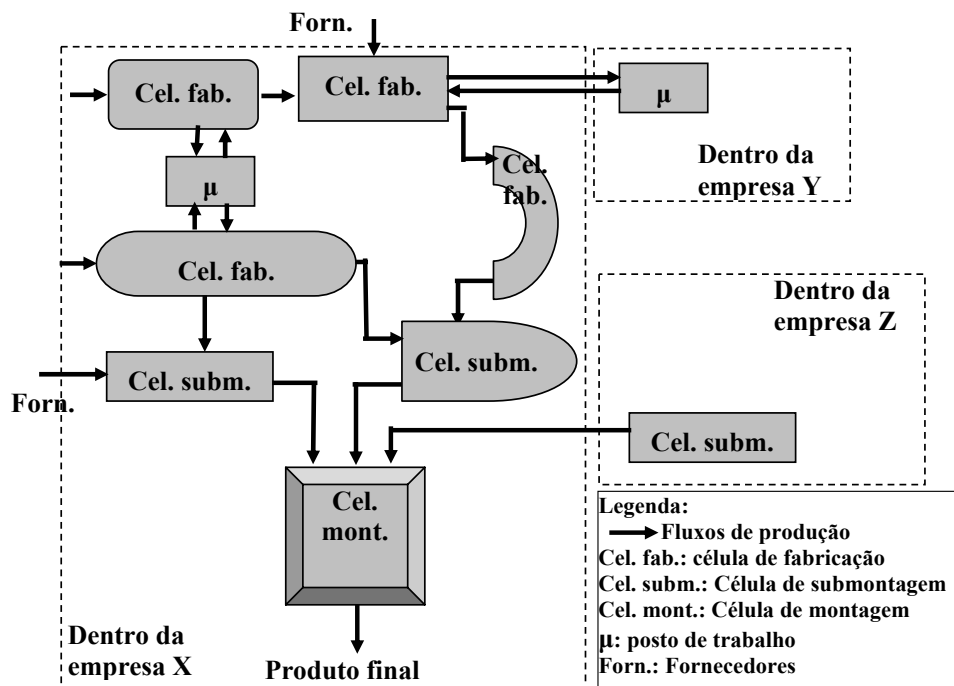


Figura 5. Representação de um SPOP

Quando o produto é simples ou, em caso de composto apenas a montagem final é necessária, um SPOP pode assumir a configuração de uma única célula de produção.

A coordenação de trabalho entre as células, que tem em vista o controlo sincronizado do fluxo de trabalho e de materiais das várias ordens de fabrico associadas à produção do mesmo produto pode considerar-se um dos aspectos mais distintivos e importantes de qualquer SPOP. Um conjunto de células que não trabalham sob tal coordenação não pode ser considerado um SPOP. Por conseguinte, um agrupamento de células de Tecnologia de Grupo (Gallagher e Knight, 1973) não é necessariamente um SPOP.

Conceber ou reconfigurar um SPOP é uma tarefa complexa que requer competências especiais, estratégias para a reconfiguração e flexibilidade e, ainda, instrumentos apropriados em várias fases da concepção desde a selecção de equipamentos à sua implantação e depois, ou em paralelo, à definição de formas operatórias e de integração de operadores humanos no sistema.

### 3.2. FACILITADORES PARA O PROJECTO DE SPOP

Um SPOP, como aqui é definido, visto como resultando de um conjunto interligado de células ou postos de trabalho, numa cadeia alargada de produção, pode permitir melhorar o desempenho produtivo e o serviço ao cliente, reforçando, também, desta

forma, a posição no mercado de qualquer empresa. Esta visão, que é central à motivação para a realização desta investigação, é defendida por vários autores, como sugerem as citações extraídas de algumas publicações no domínio:

- “*Reorganizing the factory: competing through cellular manufacturing*” (Hyer e Wemmerlöv, 2002)
- “*The organization is constructed of cells, and people come together in cell-based teams*” (Suri, 1998)
- “*For the company seeking to improve its competitive position, using cells as building blocks to focused factories is the best way to start on the road to becoming an agile enterprise*” (Nyman, 1992)
- “*I believe that Linked-Cell Manufacturing Systems (L-CMS) are the manufacturing system of the future*” (Black, 1991)

O conceito de *focused factory*, na definição de Nyman (1992), foi introduzido por Skinner (1974), considerando que uma empresa produz melhor e torna-se mais competitiva se for dedicada ou focada na execução de determinada tarefa, processo ou produto, aumentando desta forma as suas competências produtivas e a sua capacidade de resposta às exigências de mercado. Tal pensamento tem subjacente o facto da simplicidade, repetição e experiência na execução de tarefas, processos ou produtos poderem conduzir à competência e ao aumento da eficiência empresarial. Está-se afinal a explorar as filosofias bem sucedidas de Adam Smith (1723-1790), Frederic Taylor (1856-1915) e Henry Ford (1863-1947), já referidas na secção 2.2.1., retirando-lhe a carga desumanizante associada a tarefas elementares e alargando-as numa lógica organizacional, não da tarefa elementar, mas do sistema produtivo como um todo e complementando-as com estratégias facilitadoras de reconfiguração. Estas ideias foram, por exemplo, aplicadas com sucesso a unidades de produção focadas no produto numa unidade industrial da Microsoft instalada na Irlanda (Schonberger, 1998), vistas como “*Plant Within a Plant*” (PWP), i.e. unidades de produção orientadas ao produto dentro da fábrica. Um SPOP é uma forma de concretizar o conceito de *focused factory*.

O sucesso dos SPOP nos nossos dias é naturalmente dependente da facilidade da sua reconfiguração para se adaptar às variações da procura e dos requisitos de transformação dos produtos. A reconfiguração dinâmica de SPOP é conseguida à custa da existência de boas competências de integração e coordenação e ainda de várias

estratégias facilitadoras de reconfiguração rápida, de alguma forma já referidas no capítulo 2, destacando-se aqui: a normalização dos componentes e dos processos, a modularidade dos componentes, produtos, equipamentos e sistemas, a amovibilidade ou facilidade de movimentação e manuseamento dos equipamentos e dos materiais, a virtualidade e a distributividade.

### **3.2.1. Normalização dos componentes e dos processos**

A normalização é considerada um dos princípios básicos da Engenharia Industrial (Hitomi, 1979) e, no contexto empresarial e de forma simplificada, pode definir-se como toda a actividade que visa a redução de variedade de entidades ou objectos a utilizar numa empresa sem comprometer os seus objectivos de negócio. A nível da produção a normalização incide muito particularmente sobre a redução da variedade de produtos estendendo-se aos seus componentes e peças, às matérias primas e ainda aos seus processos de fabrico, incluindo roteiros usados na sua transformação. Com a normalização reduz-se grandemente a complexidade a vários níveis de actividade empresarial, e principalmente de produção, e alcançam-se economias substanciais nos processos produtivos, e nas actividades associadas à transformação e provimento de materiais para a produção.

Compreende-se por isso que o sucesso da adopção de SPOP está associado a processos de normalização ao nível da produção como acima se refere, tipo de processos adoptados também na produção em massa, secção 2.2.1, e produção magra, secção 2.2.4.. No entanto, não é defensável uma incidência de normalização tendente a reduzir o leque de produtos a oferecer ao mercado. Isto reduz competitividade e sustentabilidade da empresa no mercado global concorrencial actual e, provavelmente, futuro. Portanto deverá haver criatividade para normalizar ao nível dos componentes, peças matérias primas e processos e equipamentos, mas sem afectar, e se possível aumentar, a oferta de produtos ao mercado.

Estratégias criativas de design e personalização dos produtos, baseada num leque de componentes normalizados e modulares, pode permitir uma oferta bastante alargada de produtos, sem comprometer as economias de escala produtivas. Nesta perspectiva a produção de módulos pode estar afectada a umas células e a sua montagem em produtos diferenciados a outras, sendo a sua integração e relacionamento a base de formação de SPOP. A identificação dos produtos deve ser realizada atendendo às preferências dos

clientes através de, por exemplo, os configuradores de produtos, secção 2.1.3, e reconhecendo as características do produto mudáveis e características imutáveis. Depois desta identificação, uma forma de construir o produto, segundo Fulkerson (1997) é a partir de uma plataforma estática para as características imutáveis e módulos funcionais intermutáveis para as outras características que são depois acoplados à plataforma através de um interface standard. A normalização associada à modularidade do produto aumenta a variedade de produtos personalizados, a um custo controlado, concretizada pela combinação dos componentes normalizados, i.e. construção modular do produto, dando lugar à personalização estandardizada de Mintzberg (1988) referida na mesma secção.

Num esforço de normalizar sem comprometer a capacidade de concorrência, as empresas podem ter de correr riscos resultantes do eventual aumento dos custos devido à incorporação de funcionalidades alargadas dos processos e dos componentes ou módulos dos produtos. No entanto, este até pode justificar-se se existirem economias substanciais na redução da complexidade de, por exemplo, nas compras, gestão de stocks ou controlo de qualidade. Outro risco que a empresa corre é o da normalização actuar como uma força de inércia que a impede de adoptar melhores processos explorando a inovação tecnológica devido a dificuldades de incompatibilidade (Ulrich, 1995).

### **3.2.2. Modularização dos componentes e produtos, processos e sistemas**

A essência do conceito modular é projectar, desenvolver e produzir componentes que podem ser combinados num número máximo possível de formas (Starr, 1965). Através desta abordagem consegue-se maximizar a variedade dos produtos finais combinando um número reduzido de componentes ou peças, designados de módulos (Starr, 1972, em Hitomi, 1979). Na secção 2.1.3. já se falou neste conceito e de como este é importante no paradigma da produção não repetitiva para conseguir a personalização em massa através da arquitectura modular do produto e da família e da flexibilidade do processo de produtos (Ulrich, 1995 e Tseng e Jiao, 2001) permitindo a produção de variedade. Isto tem implicações nas características da produção e do sistema.

A indústria automóvel e outras indústrias onde os produtos são montados a partir de componentes, como são os casos, por exemplo, de computadores (Feitzinger e Lee, 1997, descrevem o exemplo da Hewlett-Packard) e de móveis, exploram este conceito,

praticando uma produção modular como base para as estratégias de resposta à procura Montagem por Encomenda - *Assemble To Order, ATO* - (Vollmann, 1997) ou - *Build To Order, BTO* - (Coronado et al., 2004). Esta prática permite economias substanciais no processo produtivo, nos tempos de entrega e nos custos de armazenagem.

Estas indústrias praticam também a personalização estandardizada de Mintzberg (1988), secção 2.1.3., que está na base da estratégia “*postponement*” bastante divulgada, associada ao momento em que, na cadeia de produção se tem de tomar em conta a encomenda do cliente. É neste momento que a diversificação do produto na empresa se manifesta (Feitzinger e Lee, 1997; Coronado et al., 2004 e Yang et al., 2005). Esta estratégia associada à modularização do produto facilita a reconfiguração da rede de fornecimento, produção e distribuição - *supply chain* - ao permitir a subcontratação de operações e a simplificação do processo produtivo (Salvador et al., 2004).

Com a produção modular há um claro adiamento do ponto de colocação da encomenda em relação à Engenharia por Encomenda - *Engineer To Order, ETO* - e à Produção por Encomenda - *Make To Order, MTO* -, uma vez que é compatível com a Montagem por Encomenda (ATO). A Figura 6, adaptada de Higgins (1996), ilustra este ponto, definido como o ponto de colocação da encomenda para os diferentes ambientes de produção incluindo a Produção para Stock - *Make To Stock, MTS* - e Produção por Procura - *Make To Demand - MTD* - esta sugerida por Oden (1994).

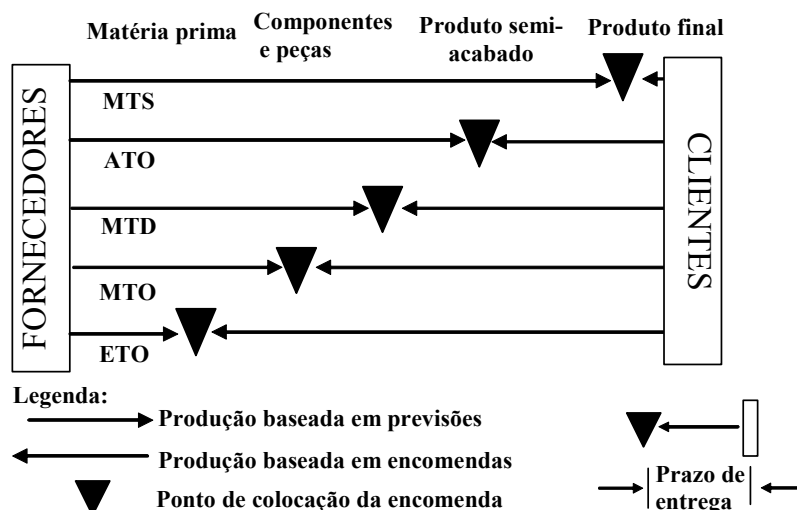


Figura 6. Ponto de colocação da encomenda

A posição do ponto de colocação determina o tipo de resposta da empresa ao mercado e o nível de interacção entre a produção e o cliente. Quanto mais montante o ponto estiver (no caso de Engenharia por Encomenda) mais interacção existe, uma vez que

todas as operações abaixo do ponto são directamente dirigidas à satisfação de uma particular encomenda.

O conceito modular também se pode aplicar quer ao projecto de sistemas quer ao projecto de processos, equipamentos e tecnologia. O projecto modular de processos pode dar às empresas a flexibilidade requerida para a MC. Para isso é necessário separar o processo de produção em subprocessos independentes, actuando-se sobre os subprocessos de forma diferente. Esta actuação pode basear-se, segundo Feitzinger e Lee (1997) em três princípios: ponto de adiamento do processo, a standardização do processo e redefinição do processo.

Os dois primeiros relacionam-se com o ponto de adiamento do processo, o “*postponement*” já referido, de forma a incorporar a diferenciação do produto no processo mais próximo do cliente. Como exemplos de aplicação tem-se o caso das tintas em que é produzida uma tinta genérica numa primeira fase do processo e, depois, numa segunda fase do processo é misturado o pigmento de acordo com as preferências do cliente e o caso do fabrico de automóveis em que são produzidos a maioria dos módulos antes da encomenda do cliente, baseados em previsões, e depois o produto será diverso de acordo com a configuração escolhida pelo cliente. Na standardização do processo, uma fase do processo é standardizada e a outra não pois é realizada depois de receber a encomenda do cliente. A redefinição do processo significa alterar a ordem pela qual são realizadas as fases principais do processo, por exemplo, na indústria do vestuário de cortar primeiro as peças e depois mandar tingir sabendo as cores preferidas pelos clientes para essa estação.

Segundo Garud e Kumaraswamy (1995) projectar a tecnologia com modularização é a melhor forma das empresas realizarem economias de substituição, sendo por isso importante para a reconfiguração de sistemas, nomeadamente de SPOP. Tais economias existem quando o custo de reconfigurar um sistema através da retenção de componentes existentes é mais baixo do que o custo de construir um sistema de novo. Desta forma a modularidade minimiza a redução de desempenho que resulta da incompatibilidade entre os novos componentes e os reutilizados.

A aplicação da modularização na concepção ou reconfiguração de sistemas de produção significa projectar o sistema em conjuntos de funções auto-contidas, relativamente independentes, compatíveis com outros módulos permitindo aos utilizadores escolherem

os módulos que mais lhe interessam. O termo modular no projecto de sistemas pode ser visto segundo duas lógicas: numa primeira lógica o sistema é construído a partir de componentes modulares como, por exemplo, máquinas e sistemas de manuseamento e de transporte. Exemplos de configurações assentes nesta lógica são o *modular production system* (MPS) e o *reconfigurable manufacturing system* (RMS) já referidos na secção 2.3.. A implementação total dessas configurações exige um grau elevado de automatização que nem sempre existe nas empresas, reduzindo a utilização destes sistemas.

Numa segunda lógica, o sistema é construído a partir de agrupamentos de máquinas com um fluxo de trabalho característico de um tipo específico de implantação orientado ao produto ou orientado à função. Exemplo de configuração que se baseia nesta segunda lógica são as redes de módulos básicos (Irani e Huang, 2000), em que o sistema é construído a partir de arranjos dos grupos de máquinas que assumem as formas tradicionais como as células, linhas ou secções funcionais. Cada um destes arranjos é designado de módulo e o arranjo resultante é uma combinação dos três arranjos tradicionais designado por rede de módulos básicos que podem ser adicionados ou eliminados à medida que muda a procura (Irani e Huang, 2000 e Benjaafar et al., 2002).

O projecto do SPOP segue esta lógica de modularidade podendo incluir também a primeira lógica adoptando como uma das suas células ou módulos um RMS ou um MPS, ou até mesmo, todo o sistema ser projectado como um destes sistemas porque estes sistemas são sistemas orientados ao produto. O SPOP pode também integrar um equipamento ou mais equipamentos de natureza modular. As células constituintes do SPOP podem ser originadas através do subprocessos identificados através do projecto modular de processos.

A modularização é assim um facilitador importante na concepção de SPOP, quer para aumentar a variedade do produto sem aumentar os custos, quer para flexibilizar e agilizar a produção através do projecto modular do equipamento, processos ou sistema. Reconhece-se desde há muito a importância da modularização mas talvez seja agora mais do que nunca que faz sentido recorrer a este conceito para projectar sistemas. Alguns autores, nomeadamente, Rampersad (1996) e Manzini et al. (2004) e consideram-na como uma das estratégias da designada *design for assembly* (DFA) (Boothroyd e

Dewhurst, 1983 em Manzini et al., 2004) mais eficaz para o projecto de sistemas flexíveis.

### **3.2.3. Reconfigurabilidade**

Embora a reconfiguração dos sistemas possa ser conseguida através do projecto de sistemas modulares e reconfiguráveis, tais sistemas servem de pouco às empresas que têm os seus sistemas e apenas necessitam de os reconfigurar. Nesta situação a reconfiguração pode ser conseguida através da introdução de alterações de uma forma rápida e a baixo custo à configuração do sistema (rearranjo de máquinas, reafecção de operadores, rearranjo da implantação,...) usando para tal uma metodologia e ferramentas apropriadas (Kusiak e He, 1997; Lee, 1998; Chan e Zhang, 2001, e Silva e Alves, 2002b, 2003). O SPOP é reconfigurado recorrendo a esta lógica de reconfiguração.

Esta reconfiguração é possível se existir amovibilidade e facilidade de manuseamento do equipamento e dos materiais como existe nalguns tipos de indústria, nomeadamente, nas secções de confecção da indústria do vestuário. Nestas secções a facilidade de movimentação dos equipamentos principais e a polivalência dos operadores do sistema permitem, por si só, adaptações fáceis a requisitos de mercado bastante diversos.

Ter estes requisitos noutros tipos de indústria, por exemplo na indústria metalomecânica, pode ser mais complicado mas a tendência é no sentido de projectar as máquinas e materiais assegurando estes requisitos de facilidade de transporte e manuseamento, através de novas tecnologias como nano-tecnologia e corte por laser ou a utilização de materiais compósitos como mostram alguns exemplos apresentados em Benjaafar et al. (2002) e o lançamento sistemático de novos equipamentos e produtos com estas características (Rand, 2004).

Os processos inovadores para projectar e fabricar novos materiais e componentes e equipamentos e sistemas adaptáveis, facilmente reconfiguráveis são também duas tecnologias chave eleitas pelo estudo Delphi designado de *Visionary Manufacturing Challenges for 2020* (National Research Council, 1998) para enfrentar alguns dos grandes desafios importantes, nomeadamente, “*achieve concurrency in all operations*” e “*reconfigure manufacturing enterprises rapidly in response to changing needs and opportunities*” para que as empresas alcancem sucesso.



A amovibilidade do equipamento é também explorada no conceito de *dynamic cellular manufacturing system* (DCMS) ou sistema de produção celular dinâmico introduzido por Rheault et al. (1995, 1996), Drolet et al. (1996b), Marcoux et al. (1997), Drolet et al. (2003) no que eles consideram ser “*a framework to physically reconfigure virtual cells by exploiting the movableness of workstations*”.

Esta definição remete para dois requisitos importantes para a reconfiguração do SPOP: o de ser concebido numa óptica dinâmica, i.e. adaptar-se à mudança de requisitos de mercado e de, por vezes, poder ter de recorrer à reconfiguração virtual, o outro tipo de reconfigurabilidade definido na secção 2.3..

#### **3.2.4. Virtualidade e distributividade**

O SPOP deve tirar partido dos recursos disponíveis onde quer que se encontrem. Alarga-se, assim, o universo de meios a utilizar não só àqueles disponíveis na empresa como aos disponíveis no mercado de recursos, local ou globalmente. Desta forma está-se a falar, por um lado de reconfigurabilidade dos sistemas e, por outro, da sua natureza virtual uma vez que os recursos são dinamicamente partilhados, no tempo e no espaço, mas não são deslocados para arranjos físicos localizados.

Claramente, se se estiver a falar de reconfigurabilidade virtual um problema importante, a menos, tem de ser resolvido, nomeadamente aquele de posicionar os recursos num arranjo físico dedicado num local bem determinado para o efeito. Em alguns casos esta pretensão é efectivamente inviável quer em termos físicos quer em termos económicos. Tirar partido das vantagens oferecidas pela reconfiguração virtual é atractivo, principalmente, quando as circunstâncias remetem para produtos efectivamente muito diferentes, que são, desde logo, excluídos de integrarem a família de produtos que eventualmente possam ser produzidos num SPOP adaptável ou ágil. No entanto, visto numa lógica de reconfigurabilidade virtual, mesmo nestas circunstâncias, o potencial existe para a rápida configuração de SPOP.

Um SPOP pode, assim, ser construído reunindo num lugar os recursos ou células que podem estar fisicamente dispersos ou, alternativamente, configurar-se como SPOP virtual, situação em que a deslocalização dos recursos praticamente não se opera. Nesta visão alargada, o conceito de SPOP inclui operações de logística principalmente quando recursos de produção ou as células estão distribuídos num espaço global. Neste caso, o

SPOP pode beneficiar das TIC tirando partido das *intranets* e da *Internet*. O sistema logístico e a cadeia de fornecimento são também elos importantes na concretização prática de qualquer SPOP virtual aliás, pré-requisitos necessários também nos conceitos, mais abrangentes mas igualmente focados, de EV, secção 2.3..

Nesta lógica de distribuição global dos recursos, o SPOP pode ser visto como um sistema distribuído de produção numa perspectiva de que a distância não influencia o desempenho do sistema (Lima, 2003). Se esta distribuição se estender à tomada de decisão pode vir a assemelhar-se aos sistemas de produção fractais, holónicos e biónicos apresentados na secção 2.3.

### **3.2.5. Competências das pessoas**

A reconfiguração não pode ser realizada se as pessoas não estiverem preparadas para a assumir. Estas devem, assim, reunir um conjunto de competências que lhes permitam adquirir capacidade para trabalhar em grupo ou em equipa multidisciplinar e multicultural e em interacção com os colegas e clientes, capacidade para efectuar trabalho variado explorando estratégias de rotação, alargamento e enriquecimento de tarefas, capacidade para tomar decisões e de assumir responsabilidades, capacidade para a auto aprendizagem e capacidade de adaptação à mudança (Alves et al., 2003).

Para a reconfiguração do SPOP require-se equipas de trabalho competentes e flexíveis capazes de converterem a informação em conhecimento sempre que a mudança de produto o justifique e se adaptarem à execução de novas tarefas ou produtos possibilitando a tomada de decisão acertada e efectiva sobre a reconfiguração. Idealmente as pessoas e as equipas devem ter acesso e serem capazes de trabalhar com os recursos da empresa e com outras pessoas através da organização e para além dela (Mankin et al., 1996).

A necessidade de utilizar pessoas globalmente localizadas, ou virtualmente disponíveis, implica necessariamente a sua ligação através das TIC suportadas por *groupware*. *Groupware* são sistemas e aplicações especialmente projectadas para suportar o trabalho em equipa ou o trabalho cooperativo (Ciborra, 1996).

Esta realidade que transcende tempo, espaço e cultura remete para a necessidade de novos padrões de comunicação, intercâmbio social e requisitos novos e especiais na formação de equipas (Ratcheva e Vyakarnam, 2001). Tais equipas podem ser virtuais,

i.e., as pessoas trabalham em diferentes localizações geográficas, em diferentes organizações ou partes da organização ou trabalham em equipa em diferentes durações ou períodos de tempo (George, 1996, citado em Ratcheva e Vyakarnam, 2001).

### **3.2.6. Integração e coordenação**

Embora uma única célula possa constituir um SPOP, o mais frequente é que várias células ou recursos integrados num SPOP sejam necessários para a produção de uma família de produtos. Na sua forma mais simples e num determinado espaço temporal pode configurar-se como uma única célula ou, na sua forma mais complexa, configurar-se como um conjunto coordenado de células em diferentes ou iguais espaços temporais. A integração e a coordenação de todos os constituintes do SPOP é um passo fundamental para o bom desempenho do SPOP. A integração é definida por Vernadat (1996) como a junção de componentes heterogéneos para formar um todo com maior sinergia. Com a integração de partes separadas de um sistema de produção pretende-se evitar as “ilhas de produção”. A coordenação relaciona-se com a utilização de mecanismos para suportar o fluxo de materiais e de informação do sistema dentro da empresa e entre a empresa e o exterior.

Os fluxos de trabalho e de materiais entre as células num espaço restrito e localizado do SPOP podem ser tratados recorrendo às muitas abordagens ao controlo de produção e do fluxo de materiais no sistema, ou entre o sistema e os seus fornecedores, baseados nos paradigmas *push* e *pull*, ou combinações deles. Adicionalmente, o problema da coordenação e sincronização da produção no SPOP deve ser resolvido.

A produção coordenada e sincronizada significa que todas as fases necessárias para a produção do produto devem ser realizadas em sincronia para que os componentes do produto estejam disponíveis no instante certo no recurso ou célula adequada. De facto, quando a produção de um produto envolve uma fase de fabricação e outra de montagem, os seus componentes devem ser fabricados antes da montagem. No entanto, justifica-se a simultaneidade de fabricação dos componentes se estes forem fabricados em diferentes células. Esta abordagem de simultaneidade está inerente ao SPOP que produz em paralelo, ou simultaneamente, os diferentes componentes destinados à alimentação sincronizada ou coordenada da montagem de um produto final, designando-se este tipo de produção por produção simultânea (Silva e Putnik, 1995b).

Como exemplo, imagine-se a produção de um fato de treino constituído por duas peças de roupa: as calças e a camisola. Em termos de requisitos de processamento são duas peças que são processadas em diferentes células e que podem e devem ser processadas em simultâneo para passarem ao mesmo tempo para a fase seguinte de inspecção e embalagem. Isto envolve também um processo de coordenação pois se uma peça demora mais tempo que a outra é necessário que comece primeiro para evitar esperas na embalagem.

Este tipo de produção fundamentada no paralelismo ou simultaneidade de processamento orientada ao produto, emerge da necessidade de rápida entrega do produto pois permite a minimização do seu tempo de entrega. De facto, a produção simultânea advoga o princípio genérico da utilização dedicada e simultânea de todos os recursos possíveis para produção de uma encomenda de cada vez. A aplicação deste princípio pressupõe o escalonamento das células ou recursos para uma encomenda, explorando a sua utilização dedicada simultânea como se nenhuma outra encomenda existisse no horizonte próximo (Lima, 2003). A dedicação do SPOP a uma encomenda permite-lhe, assim reunir vantagens como a de ser rápido a produzir devido à simultaneidade de processamento dos componentes e produto final e fazer a melhor utilização dos recursos, canalizando-os para atender a uma encomenda de cada vez.

O dinamismo próprio do SPOP com configurações operacionais iguais ou diferentes e preparadas para trabalhar numa organização virtual, se tal se tornar necessário para produzir um produto ou uma família de produtos similares dá-lhe agilidade.

A integração e coordenação destes contituíntes do SPOP, virtuais ou não, pode ser visto como um problema similar, embora mais simples em determinadas situações, à integração, coordenação e controlo entre os vários membros de uma EV seleccionados durante a sua formação. Como tal alguns algoritmos, ferramentas e aplicações que tratam a integração nas EV podem ser usados na integração do SPOP. Alguns exemplos de trabalhos que tratam, implicitamente ou explicitamente, estes problemas são Rolstadås (1995), Rabelo e Camarinha-Matos (1996), Camarinha-Matos et al. (1997), Camarinha- Matos e Pantoja-Lima (2001), Davidrajuh e Deng (2000), Ratchev et al. (2000), Löh et al. (2000), Yaman (2001), Katzy e Dissel (2001), Putnik (2001), Serve et al. (2002), Davidrajuh (2003) e Feng e Yamashiro (2003).

### 3.3. CONFIGURAÇÕES CONCEPTUAIS DE SPOP

A combinação dos fluxos de trabalho representados na Figura 2 permitem identificar diferentes arranjos teóricos ou conceptuais de sistemas de produção orientados ao produto ou das células que os compõem genericamente designados por configurações. Assim, algumas variantes possíveis de configurações podem ser identificadas, designadas neste trabalho por *configurações conceptuais*. Destas, uma configuração com autonomia produtiva e independente, capaz de totalmente transformar os produtos similares que lhe são afectos sem ter de partilhar os seus recursos é designada por configuração conceptual básica ou simplesmente *configuração básica*. Portanto uma configuração básica não depende de outras para completar os produtos para os quais são concebidas. Se a transformação dos produtos requer a partilha de sistemas ou configurações diz-se que estas não são autónomas nem independentes configurando cada uma o que aqui se designa por configuração conceptual não básica ou simplesmente *configuração não básica*. Portanto uma configuração não básica partilha os seus recursos com outras ou requer a partilha de outras para completar o processamento dos produtos que lhe são afectados, podendo ser referida como *configuração partilhada*.

Embora cada uma destas configurações se possa estender tanto ao SPOP, como um todo, como às células que o constituem, por questões de simplificação de linguagem e de encadeamento do texto associa-se o conceito de configuração ao conceito de célula nas secções seguintes.

#### 3.3.1. Células básicas (CB)

Linhas e células de produção são blocos construtivos de SPOP. Convém, no entanto, adiantar que a distinção entre linha e célula resulta de diferentes perspectivas de classificação de sistemas de produção. Esta visão é expressa por Schonberger (1983) quando afirma “... *cells and production lines are cut out of the same cloth*” e resulta do facto de haver células que, de acordo com a teoria, se configuram como linhas de produção e outras não, como aliás já se referiu na secção 2.4.. As primeiras podem designar-se por *células de fluxo directo* (CFD) e as outras por *células de fluxo inverso* (CFI). Estas permitem uma ordem não restrita de acesso aos postos de trabalho, incluindo fluxo de realimentação. Não estão sujeitas às restrições de fluxo operativo imposto pelo conceito de linhas como é formalmente definido por vários autores,

nomeadamente, Baker (1974), Brucker (1995), Blazewicz (1996) e Pinedo (1995). A Figura 7 apresenta os quatro tipos de células básicas identificadas neste trabalho (Silva e Alves, 2004), baseadas nos fluxos de produção da Figura 2.

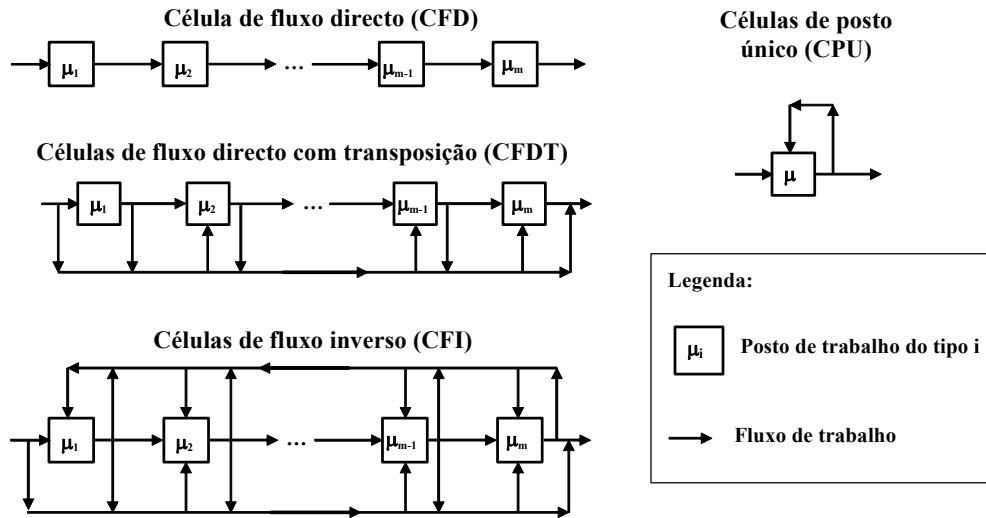


Figura 7. Representação esquemática de células conceituais básicas resultantes da combinação de fluxos

É fácil identificar as células básicas de fluxo directo sem transposição (CFD) com as linhas de produção puras, secção 2.4.2.. Usa-se a designação de linha dedicada para a variante deste conceito dedicada exclusivamente à produção contínua de um dado produto único em unidades ou postos de trabalho complementares e balanceados, num processo de transformação encadeado sequencialmente, em fluxo directo e requerendo todos os postos de trabalho do sistema de produção, i.e. *balanced flow lines*. Este tipo de linha é, talvez, o caso mais paradigmático de linhas de produção.

### 3.3.2. Células não básicas (CNB)

Um problema típico na formação de células é a impossibilidade de disponibilizar meios de equipamento principal, i.e. máquinas, para incorporar nas diferentes células planeadas para organizar a produção em SPOP. Exceptuando o caso em que um pequeno número de famílias de produtos e, por conseguinte, de células permite uma organização em células independentes, esta impossibilidade deverá traduzir-se numa partilha entre células tornando-as assim dependentes umas das outras para finalizarem a produção de um produto ou família.

A partilha pode fazer-se também entre uma célula e uma secção funcional devido à indivisibilidade desta, face a restrições tecnológicas ou restrições organizacionais,

designando-se tais arranjos por células híbridas (Irani et al., 1992). Tanto uma situação como a outra, representadas na Figura 8, adoptada de Silva e Alves (2004), procuram equilibrar os benefícios da partilha de recursos, minimizando o custo de investimento e aumentando a utilização de equipamento, com asseguarção de um fluxo eficiente minimizando os custos de manuseamento.

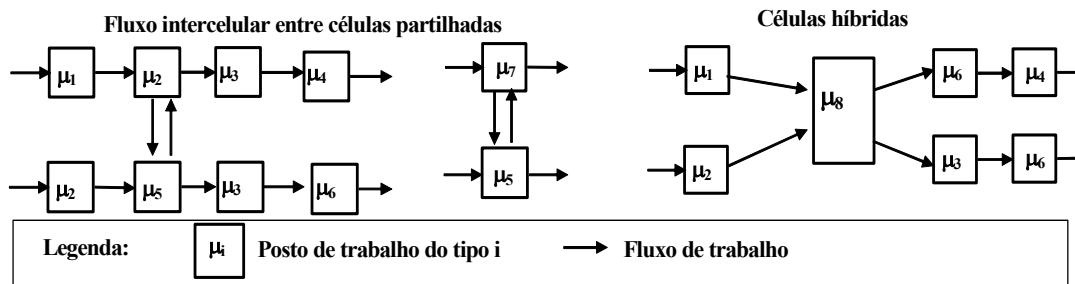


Figura 8. Representação esquemática de células partilhadas

Variantes equivalentes de células básicas podem ser equacionadas para as células não básicas ou partilhadas, obtendo-se assim um conjunto de configurações conceptuais para a configuração de SPOP apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Configurações conceptuais de SPOP

Designação/ símbolo	Sigla	Designação/símbolo	Sigla
CÉLULAS BÁSICAS (CB)	Célula de posto único	CÉLULAS NÃO BÁSICAS (CNB)	Célula partilhada de posto único
	Célula de fluxo directo		Célula partilhada de fluxo directo
	Célula de fluxo directo c/ transposição		Célula partilhada de fluxo directo com transposição
	Célula de fluxo inverso		Célula partilhada de fluxo inverso
	CPU		CPPU
	CFD		CPFD
	CFDT		CPFDT
	CFI		CPFI

Utiliza-se nesta tabela uma simbologia associada a cada configuração de célula. Assim a coluna das células básicas corresponde à representação da Figura 7 e a coluna das células não básicas corresponde à representação da Figura 8.

### 3.3.3. Configuração e flexibilização dos postos de trabalho

A replicação de recursos e a sua utilização dinâmica, por exemplo, recursos humanos e ferramentas, pode substancialmente alterar, quer a flexibilidade de um sistema de produção quer a sua capacidade produtiva quer, ainda, a forma de operar o sistema (Silva, 1988, 1995 e 1997). A existência de recursos iguais ou diferentes replicados e o número de funções associadas a cada um permite distinguir a configuração dos postos de trabalho.

Um *posto de trabalho* é uma unidade de produção constituída por um ou mais processadores (operador, máquina ou conjunto operador e máquina) necessário ao processamento de uma ou mais operações. Assim, além de postos de processador único e especializado, também se pode conceber *postos paralelos*, *postos de recursos múltiplos* e *postos de função múltipla*, Figura 9, adaptada dos slides de apresentação de Silva e Alves (2002a).

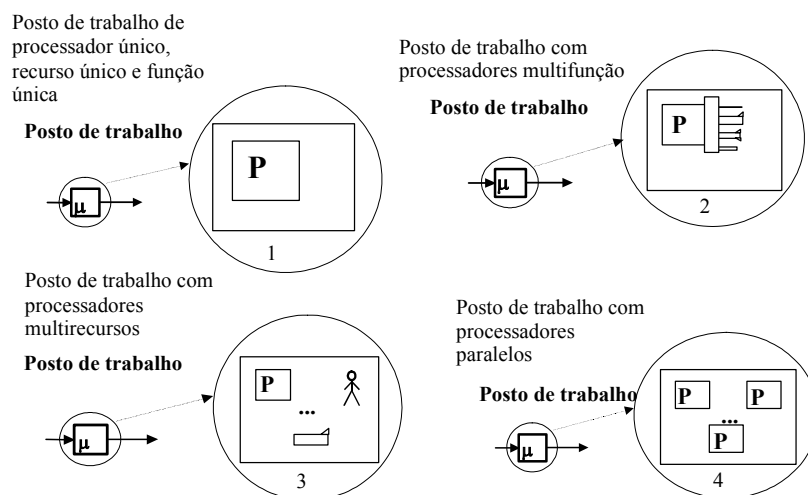


Figura 9. Configurações básicas de postos de trabalho

Os postos de trabalho ou unidades de produção de um SPOP, podem ser do tipo postos simples, com um processador, ou postos compostos com processadores paralelos, i.e. dois ou mais processadores capazes de executarem o mesmo tipo de operações. Linhas de produção assim caracterizadas são conhecidas como linhas flexíveis – *flexible flow shops* (Pinedo, 1995) ou como linhas híbridas – *hibrid flow shops* (Elmaghraby e Karnoub, 1997) ou, ainda, como linhas de produção paralelas – *parallel production lines* (Artiba, 1997) muito comum nas indústrias farmacêutica, química, cosmética, alimentar, cervejeira ou de produtos obtidos por injeção.



Este conceito de postos paralelos também é explorado na produção *Multi-Channel* (Meller e DeShazo, 2001), construído a partir das células de produção, onde os produtos podem escolher o “canal” mais conveniente por existirem vários à escolha. Os “canais” são também referidos neste ambiente por alguns autores, nomeadamente, Benjaafar et al. (2002) e Ozcelik e Islier (2003), como linhas de produção paralelas.

A existência de postos com processadores paralelos pode justificar-se, principalmente, face às necessidades de capacidade produtiva do SPOP não satisfeitas por apenas um processador de cada tipo.

Adicionalmente, os processadores de cada posto podem requerer vários tipos de recursos em simultâneo, nomeadamente, máquinas, ferramentas, operadores ou outros, para executarem as tarefas, designando-se os sistemas, neste caso, por sistemas de tarefas de multiprocessador (Brucker, 1995) ou posto de trabalho com processadores multirecursos.

Por fim, os postos podem ser providos de equipamento principal flexível, à semelhança do que acontece nos sistemas de produção flexível (FMS) (Tempelmeier e Kuhn, 1993) possibilitando a realização de diferentes tipos de operações, normalmente à custa da mudança de ferramentas, programas de controlo numérico e outros meios auxiliares de produção. Sistemas de produção com estas características podem designar-se por sistemas de processadores multifunção (Brucker, 1995).

Esta classificação recorre a três dimensões: o número de processadores, o número de recursos diferentes envolvidos e o número de funções do posto. As quatro configurações apresentadas na Figura 9 são designadas de configurações básicas pois nenhuma dimensão (configuração 1) ou apenas uma, varia (configuração 2, configuração 3 e configuração 4) mas pode-se considerar combinação destas, por exemplo, a existência de processadores paralelos do tipo multirecurso, resultando daqui quatro configurações híbridas. Desta forma tem-se oito configurações apresentadas na Tabela 3.

A interpretação que pode ser feita da configuração MUM é tratar-se de um posto de trabalho com processadores paralelos cada um dos quais com um único recurso, i.e. o principal, geralmente uma máquina, sendo flexível e capaz de executar funções de transformação múltiplas, i.e. diferentes. A configuração UMU pode interpretar-se como um posto de trabalho com um único processador, complexo, composto por vários

recursos. Geralmente estes recursos são um principal e vários auxiliares, mas pode incluir mais que um principal e nenhum ou vários auxiliares.

**Tabela 3. Configurações básicas e híbridas de postos de trabalho**

Configurações de postos de trabalho	Processador	Recurso	Função
1	UUU	Único	Única
2	UUM	Único	Múltipla
3	UMU	Único	Única
4	MUU	Múltiplo	Única
5	UMM	Único	Múltipla
6	MUM	Múltiplo	Múltipla
7	MMU	Múltiplo	Única
8	MMM	Múltiplo	Múltipla

### 3.4. CONFIGURAÇÕES OPERACIONAIS DE SPOP

A especificidade operatória determinada pelos objectivos a atingir, tipo e quantidade de meios de produção utilizados, modos operatórios e mecanismos de controlo de produção adoptados originam diferentes *configurações ou células operacionais* que podem ser vistas como instâncias ou casos das configurações conceptuais apresentadas atrás. Assim, podem distinguir-se várias configurações operacionais que, simples ou combinadas, formam SPOP. Cada configuração operacional traduz, portanto, uma implementação operacional particular de alguma configuração conceptual. Neste sentido e a título de exemplo, podem considerar-se as seguintes células operacionais:

- Células JIT
- Células de resposta rápida
- Células de produção flexível
- Células virtuais
- Células ágeis

#### 3.4.1. Células JIT

As células *Just-In-Time* (CJIT) são concebidas na mira de se atingir o que se pode referir como objectivos da abordagem JIT (Browne et al., 1988): *zero defeitos, zero tempos de “set-up”, zero existências, zero manuseamento, zero avarias, zero prazos de fabrico e lotes de tamanho unitário*. Uma síntese destes objectivos indica que a abordagem JIT aponta estrategicamente para a supressão de tudo o que é desperdício.

Vê-se assim, no âmbito da concepção dos sistemas de produção e na tentativa de concretização dos objectivos da filosofia JIT, que a orientação deve ser para células de

produção de fluxo directo e dedicados ao produto ou família de produtos. Desta forma, embora a Tecnologia de Grupo não tenha sido desenvolvida para satisfazer os objectivos JIT estes exploram-na profundamente (Burbidge, 1989), remetendo para células operacionais que se desenvolvem, naturalmente, no contexto das configurações conceptuais básicas CFD e CFDT, referidas anteriormente na secção 3.3.1.. De facto esta orientação tende a satisfazer, melhor que outras, os objectivos JIT importantes, como o são os zero tempos de preparação, zero existências, zero manuseamento, zero prazos de fabrico e lotes de tamanho unitário.

Outros requisitos operacionais são necessários para satisfazer outros objectivos JIT. Zero defeitos e zero avarias exigem orientações relacionadas com a qualidade dos produtos e dos processos. Portanto esforços de garantia de qualidade e manutenção preventiva, através de práticas de TQC, TQM e TPM, são necessárias para atingir estes dois objectivos, tendo também um impacto directo importante no alcance de outros.

O reforço de medidas de redução de stocks e uma boa coordenação do fluxo de materiais inter-operacional, i.e. entre postos ou centros de trabalho são conseguidos à custa do uso do chamado paradigma *pull* de controlo de produção (Silva e Ribeiro, 1998). Este traduz uma característica praticamente comum a todos os sistemas de produção que integram células JIT.

O controlo tipo *pull* garante uma alimentação e fluxo de materiais intracelular e intercelular, equilibrado e coordenado, mesmo perante a existência de células produtivas externas, i.e. de fornecedores. A sua eficácia resulta da aplicação de mecanismos simples de autorização de produção, fornecimento, transporte, armazenagem em curso de pequenas quantidades e, ainda, de boa comunicação inter-pessoal, informacional e visual, assegurando, também, boa visibilidade da qualidade dos produtos e dos processos e do progresso dos trabalhos em curso.

Uma exigência importante das células JIT é a adaptabilidade a variações moderadas do volume de procura e do espectro de produtos a produzir. Este objectivo tende a exigir algumas alterações às células, porquanto uma dada configuração, ao cabo de pouco tempo, tenderia a degenerar tornando-se ineficiente face às variações referidas. Tal, significa no mínimo, ligeiras alterações de capacidade produtiva o que implica, nas células JIT, um ajuste periódico do número de operadores do sistema e, por vezes, por

exemplo, o recurso a horas extraordinárias e o acréscimo ou redução de postos de trabalho na célula.

As variações de mercado são, em termos produtivos, periodicamente alisadas, em períodos de alguns dias ou semanas, por forma a reduzir a perturbação na produção e poder usar, de forma eficiente, as configurações conceptuais de grande rendimento acima referidas. Este alisamento pressupõe previsão fiável da procura e, por conseguinte, uma situação de mercado razoavelmente previsível.

A adaptabilidade referida requer, ainda, estratégias diversas de flexibilização e fiabilidade operatória. A mobilidade e polivalência de pessoal facilita a rotação e alargamento de tarefas, permitindo além de grande flexibilidade também grande fiabilidade de funcionamento das células JIT. Importante é também a flexibilidade dos postos de trabalho que pode ser obtida, por exemplo, à custa de medidas de flexibilização como as referidas anteriormente. A implementação destas estratégias resulta numa redução de variabilidade na produção e num balanceamento quase perfeito e dinâmico da actividade produtiva apesar da variabilidade da procura e do espectro de produtos produzidos.

Uma célula JIT poderá, portanto, ser constituída por vários postos de trabalho, havendo frequentemente uma equipa de pessoas que coordenadamente e adoptando modos operatórios adequados, secção 3.5., partilham a execução das diferentes tarefas nos diferentes postos de trabalho. O número de pessoas na equipa e as tarefas afectas aos operadores são variáveis, de acordo com as taxas de produção necessárias e competências dos operadores. As vantagens resultantes da ergonomia dos postos de trabalho e da motivação resultante do alargamento ou rotação de tarefas são consideradas, assim como o trabalho em pé para facilitar a mobilidade.

Nesta configuração operacional de célula explora-se o arranjo “um operador, múltiplas máquinas”. Sob o ponto de vista motivacional e ergonómico, tem-se também, outras vantagens com este arranjo das células. Assim, por exemplo, a fadiga dos operadores é reconhecidamente menor, devido à mobilidade permitida aos operadores, sendo ainda a sua actividade mais rica e certamente muito menos monótona do que em situações repetitivas.

A topologia das configurações físicas devem permitir boa visibilidade dos trabalhos, das pessoas e dos postos de trabalho e ainda fácil mobilidade das pessoas, sendo por isso

frequentemente adoptada o arranjo em U. Este arranjo possui outras vantagens, referidas em Hay (1988) que se traduzem em melhorias na produtividade, no trabalho em curso de fabrico, no tempo de produção e qualidade (Miltenburg, 2001).

As características e objectivos até aqui descritos e apresentados são comuns a modelos de células JIT, referenciadas como:

- *Toyota sewing system (TSS)*
- *Modular manufacturing system (MMS)*
- *Flexible work group (FWG)*
- *One-piece flow (OPF)*
- *Unit production system (UPS)*
- *Linked cell manufacturing system (L-CMS)*
- *Quick response sewing system (QRS)*

Embora semelhantes existem conceitos implícitos em cada um destes modelos de células JIT que faz designá-los com outras denominações de acordo com o conceito que mais sobressai. Desta forma, é realizada, de seguida, uma revisão sucinta destes modelos e conceitos associados.

#### ***3.4.1.1. Toyota sewing system (TSS)***

O *Toyota sewing system (TSS)* é considerado como a aplicação do TPS da indústria automóvel, apresentado na secção 2.2.4., na indústria do vestuário e afim, por exemplo, estofos para automóveis, tendo sido adaptado para esta indústria por Aisin Seiki, uma empresa do grupo Toyota (Reece Corporation, 1990). Este modelo de célula JIT, devido às características manuais e mecanizadas dos postos de trabalho faz recurso intensivo ao uso de operadores humanos, adoptando o modo operatório com o mesmo nome, TSS. Com base em Kalta et al. (1998) as características principais do TSS são:

- Dedicção do sistema a um produto ou família de produtos semelhantes
- Máquinas alinhadas de acordo com a sequência operatória
- Fluxo de trabalho directo ou com transposição
- Transferência unitária, i.e. peça a peça, inter-operacional dentro das células
- Implantação celular em U
- Operadores polivalentes
- Trabalho em pé por razões de mobilidade e ergonomia

Como se verifica esta configuração do TSS enquadra-se na configuração básica CFD obtendo-se a flexibilidade principalmente à custa do tamanho da equipa, da polivalência, da entreaajuda dos operadores, da configuração U da implantação e, naturalmente, da versatilidade do equipamento.

### 3.4.1.2. Modular manufacturing system (MMS)

O TSS é ainda conhecido como *modular manufacturing system* (MMS) nos Estados Unidos (Black e Chen, 1995). Tal como na rede de módulos básicos descrita na secção 3.2.2., o MMS é construído a partir de módulos, em que *module* é o termo industrial para células que costumam uma peça de vestuário completa. Segundo Black e Schroer (1994) e Schonberger (1996) este é adoptado por muitas empresas de vestuário porque melhora a qualidade, a produtividade e a qualidade de vida das pessoas mantendo-as mais tempo na empresa, Figura 10, adaptada de Black e Schroer (1994).

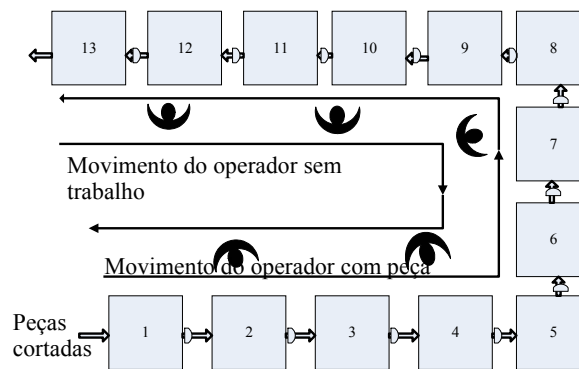


Figura 10. Representação do sistema de produção modular

A *Japan External Trade Organization* (JETRO) define este sistema como um sistema de confecção peça a peça onde os operadores operam as máquinas dispostas num arranjo em U e desempenham todas as tarefas do processo produtivo. O número de peças dentro da linha é igual ao número de operadores e o balanceamento da linha é mantido com todos os operadores a ajudarem-se entre si. Vantagens adicionais deste sistema, segundo esta organização, são a eliminação da produção excessiva e o favorecimento da redução do tempo de entrega. Castro et al. (2004) considera ainda que este faz melhor utilização do espaço fabril e diminui o absentismo.

A mesma designação parece ser usada pela *Textile Clothing Technology Corporation* [TC]<sup>2</sup>, para descrever sistemas de montagem de peças de vestuário que empregam alta tecnologia e que se assemelham mais à descrição dos *unit production system* (descrito abaixo), segundo Schonberger (1996).

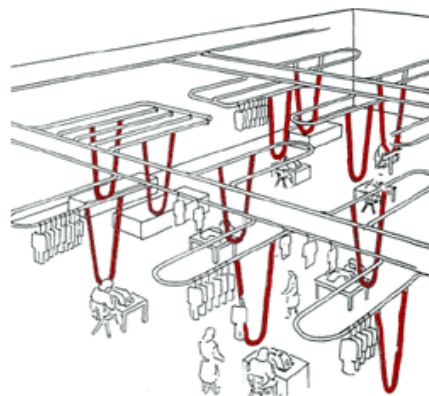
### **3.4.1.3. Flexible work group (FWG)**

Chen (1998) também se refere aos sistemas *modular manufacturing system* mas prefere chamar-lhes sistemas *flexible work group* (FWG) caracterizando-os por equipamento/máquinas na sua maioria manuais ou semi-automáticos, manuseamento manual entre postos de trabalho das peças de vestuário, pouco ou nenhum controlo e coordenação computadorizada, basicamente apenas coordenação manual e uso intensivo de mão-de-obra organizada em equipas de trabalho.

No que diz respeito aos operadores e sua organização o autor referido descreve um sistema com equipas de trabalho cujos objectivos ultrapassam o das equipas do JIT, aproximando-se das equipas derivadas da abordagem sócio-técnica, secção 3.5.. Nestas equipas todos os membros participam na tomada local de decisões tradicionalmente da responsabilidade exclusiva de supervisores e gestores. Todos os membros têm responsabilidades e autonomia para porem em prática as suas próprias iniciativas. Possuem ainda poder e autoridade para realizarem com sucesso as tarefas suportadas por uma infra-estrutura de apoio informacional e tecnologia para facilitar as comunicações, podem fazer reuniões e têm tempo para investigar e desenvolver actividades.

### **3.4.1.4. Unit production system (UPS)**

De acordo com Hill (1991 em Chen, 1998) o *unit production system* (UPS) pode ser considerado parcialmente similar ao modelo FWG mas em que o manuseamento de materiais é automático ou semiautomático. Este manuseamento é realizado através de um sistema aéreo, utilizando uma extensa gama de cabides para diferentes produtos, Figura 11, adoptada de Gerber Technology (2005).



**Figura 11. Representação do UPS ou Eton System**

O sistema de endereçamento de cabides de um operador para outro é o mais flexível possível, levando o produto à posição de trabalho com a ajuda de uma corrente ajustável para atender às características individuais do operador, do processo e do produto. Segundo Araújo (1996) a redução de manuseamento leva à redução da fadiga e do absentismo, encurtando também o tempo de produção.

Este sistema é também designado de *Eton System* (Eton, 2005). Uma diferença substancial deste tipo de sistema relativamente ao FWG é que o conceito de equipa de trabalho com as características do sistema FWG não é tão reforçado devido à automatização do sistema de manuseamento. Consequentemente, segundo Chen (1998) no sistema UPS as melhorias de qualidade não são tão acentuadas como no sistema FWG porque não existe um espírito de equipa e um tão forte envolvimento dos operadores.

#### 3.4.1.5. One-Piece Flow (OPF)

Outra característica importante dos modelos até aqui referidos é o fluxo contínuo de peças individualizadas (lote unitário) resultante da redução do tamanho do lote. Talvez seja por esta razão, uma vez que não parecem existir diferenças relativamente aos sistemas anteriores que Sekine (1990) o designa de *one-piece flow*. A Figura 12, adoptada de MAMTC<sup>11</sup> (2005), mostra a comparação de uma situação de processamento e transferência em lotes com uma situação de *one piece flow*. O impacto no tempo de produção provocado pela redução do tamanho do lote é evidente por isso é que esta consiste numa das principais vantagens das células.

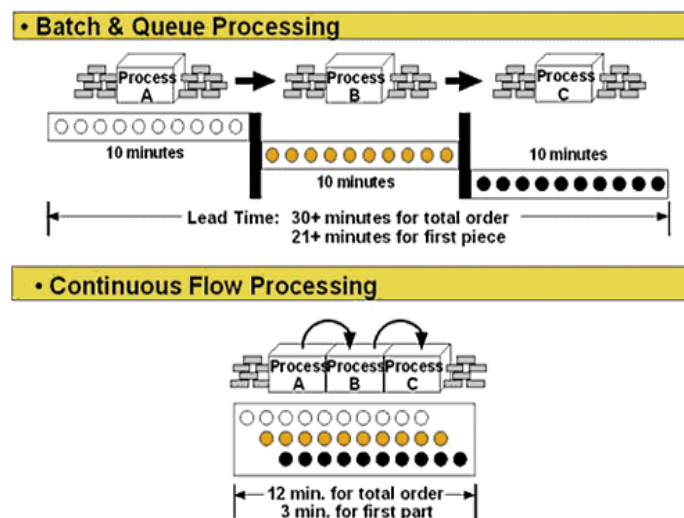


Figura 12. Impacto da redução do tamanho do lote

<sup>11</sup> Mid-America Manufacturing Technology Center



### 3.4.1.6. *Linked-Cellular Manufacturing System (L-CMS)*

As características do *Linked-Cell Manufacturing System (L-CMS)* (Black, 1991 e Black e Chen, 1995), configuração referida na secção 2.3., são:

- Dedicção do sistema a um produto ou família de produtos semelhantes
- Máquinas e células encadeadas e interligadas de acordo com a sequência operatória ou estrutura de fabrico dos produtos, i. e. componentes e montagem
- Fluxo de trabalho directo ou com transposição
- Transferência unitária entre postos de trabalho, i.e. peça a peça, dentro das células
- Operadores polivalentes em cada célula
- Afectação de zonas de responsabilidade a cada operador, i.e., conjuntos de tarefas diferentes a realizar em postos de trabalho não necessariamente contíguos
- Armazenagem local reduzida entre postos de trabalho de uma célula – “decouplers”
- Controlo *pull-kanban* inter-células
- Trabalho de pé com movimentação nas zonas de responsabilidade
- Máquinas universais simples com mobilidade para permitir a reconfigurabilidade do sistema
- Reconfigurabilidade para contemplar a produção de novos produtos
- Várias células interligadas para completamente processar um produto, desde a fabricação de componentes à sua montagem num *cluster* de células com implantação em U

Estas características identificam-se fortemente com as das células JIT, o que o autor reconhece, referindo as células L-CMS como células JIT (Black e Chen, 1995). A última característica enumerada remete para uma descrição de SPOP, embora um SPOP não esteja restringido à implantação de células em U nem ao controlo *pull-kanban*. Por isso, o L-CMS pode considerar-se como uma instância do conceito SPOP.

As células L-CMS têm características que as distinguem das células TSS e FWG, embora haja semelhanças marcantes. Embora seja referida a afectação de zonas de responsabilidade, os postos de trabalho nestas zonas não são necessariamente contíguos como no TSS e o modo operatório *rabbit-chase*, secção 3.5.2, é uma alternativa bastando para isso que vários operadores tenham as mesmas valências técnicas para este ser possível.

Um aspecto importante nas células L-CMS é o uso de *decouplers* ou desacopladores (Black e Schroer, 1988) que funcionam como armazéns localizados. Estes têm a função de armazenagem local e transporte inter-operacional, regulação das quantidades em curso de fabrico na célula, inspecção, normalmente automática, de qualidade, amortecimento dos fluxos de produção, alimentação do posto seguinte, operações de arrefecimento e cura e outras. Outros efeitos importantes dos *decouplers* podem ser

referidos, nomeadamente a eliminação da necessidade de perfeito balanceamento operatório e a flexibilização de acção dos operadores (Black e Schroer, 1988).

Uma preocupação nas células L-CMS é a sua reconfigurabilidade. Isto é importante para ajustar bem o sistema ao produto, havendo o cuidado de utilizar máquinas, simples, universais e de fácil movimentação para o efeito, remetendo para postos de trabalho de processador único ou multirecurso. Segundo Black (1991) as L-CMS são capazes de rapidamente se adaptarem às mudanças na procura relativamente à variedade e/ou à quantidade de produtos e de rapidamente introduzir novos produtos no mercado.

Aparentemente, não há restrição ao sector produtivo, de produção discreta, onde as L-CMS podem ser utilizadas. Neste aspecto tornam-se mais versáteis do que as células TSS e, de certa forma, também do que as células FWC, UPS e QRS (apresentadas de seguida), mais indicadas para a chamada indústria *apparel*.

#### **3.4.1.7. *Quick response sewing system (QRSS)***

A *Japan External Trade Organization* (JETRO, 1990) define o modelo *quick response sewing* (QRS) como um modelo que minimiza o rearranjo das máquinas quando muda o tipo de produto num ambiente de pequenos lotes e tempos de produção de curtos. Cada operador faz uma tarefa específica e a peça é processada uma a uma. A célula tem três a quatro tipos de máquinas necessárias para produzir um novo produto. As tarefas são processadas com o operador em pé e a transferência das peças é realizada por um sistema de ganchos.

Nesta definição este modelo parece assemelhar-se muito ao UPS, principalmente no modo de manuseamento que é automático, ao contrário do MMS que embora similar ao QRS o número de tarefas que o operador executa é diferente.

Neste contexto, o conceito QR tem como principal objectivo, a rapidez de resposta às solicitações de mercado, i. e. a estratégia baseada no tempo (May, 1994, Forza e Vinelli, 1996, 1997). O QR é visto ainda por Stalk (1990) e Blackburn (1991) (citados em Forza, 1997) como uma extensão da filosofia JIT que é aplicada a toda a cadeia através de uma visão colaborativa no qual todos os intervenientes estão prontos a trocar - de uma forma interdependente – informação sobre vendas, encomendas e stocks.

Envolve, assim, todos os elementos da cadeia do fornecimento da indústria têxtil (têxtil => confecção => retalho), desde os produtores do fio aos consumidores, relacionando-

se estreitamente com o conceito de *supply chain* (Romano e Vinelli, 2001, Bruce e Daly, 2004), com o objectivo de reduzir o intervalo de tempo desde a fase do projecto do modelo até à compra pelo consumidor. Isto só é possível com a ligação adequada entre todos os intervenientes desta cadeia estabelecida e concretizada por normas voluntárias para a comunicação de ordens de encomenda, facturas, boletins de embarque, especificações, códigos de barras, entre outras que são transmitidas e processadas automaticamente pelo computador através de EDI (Araújo, 1996).

### 3.4.2. Células de resposta rápida

Se alguns autores, nomeadamente os autores referidos na secção anterior consideram o conceito *quick response* como uma extensão da filosofia JIT, Suri (1998) vêem-no como uma filosofia em si mesmo em que a preocupação ou objectivo fundamental é minimizar o tempo de percurso de fabrico dos trabalhos – *manufacturing lead time*. Esta filosofia designada de *quick response manufacturing* (QRM), já referida na secção 2.3., suporta a formação de células algo diferentes em relação às células JIT, designadas de células QRM ou células de resposta rápida. De acordo com Suri (1998) as células QRM têm as seguintes características:

- Dedicção a famílias de produtos semelhantes
- Quando o produto é complexo várias células dedicadas ao fabrico dos componentes e montagem são necessárias e interligadas
- Implantação dos postos de trabalho numa sequência que reflecte a sequência predominante de operações da família, mas com a possibilidade de:
  - Fluxo de trabalho directo, com transposição e inverso
  - Aplicação da estratégia *overlapping* o que significa transferência unitária ou em pequenas quantidades entre postos de trabalho da célula e de pequenos lotes entre células.
- Equipa de operadores polivalentes e responsável pelo funcionamento e operação da célula
- Completa responsabilidade da equipa pela operação e desempenho da célula, pela qualidade do produto ou peça produzido e sua alimentação às células “clientes” e pelo controlo do progresso dos trabalhos
- Possível armazenagem local reduzida e controlada entre postos de trabalho da célula
- Não produzir para *stock*
- Possível uso de controlo *pull-kanban* dentro da célula ou outra forma de controlo
- Controlo do congestionamento tipo *pull* e fornecimento de material tipo *push* entre pares sucessivos de células – sistema designado POLCA - *Pair Overlapping Loop of Cards with Authorization*. A autorização refere-se ao instante autorizado em que cada trabalho pode começar, fornecido pelo planeamento MRP e baseado nos *leadtimes* previstos em cada célula
- Funcionamento preferencial independente de cada célula sem partilha de recursos. A partilha é só admitida quando não há alternativas viáveis

Do exposto se conclui que, em geral, as células QRM tendem a ser mais flexíveis que as células JIT podendo lidar, sem reconfiguração, com um espectro de produtos maior. Em particular, embora Suri (1998) sugira que as células devem ser independentes, a possibilidade de ter outros arranjos não é excluída, isto é, todas as configurações são possíveis de utilizar no âmbito das células QRM. Vê-se também que as células L-CMS atrás referidas têm algumas características importantes similares às células QRM, o que confere a este modelo uma semelhança grande com o SPOP, principalmente quando as células de montagem e fabricação são ligadas e coordenadas para produzir um produto.

As células QRM são concebidas para uma situação onde os processos de fabrico dos diferentes produtos na célula são diversos (Suri, 1998) obtendo flexibilização da operação das células através de equipas responsáveis com grande autonomia na forma como se organizam, gerem e executam o processo de produção. Estas podem adoptar os modos operatórios descritos na secção 3.5., em particular, aqueles que enfatizam o trabalho de equipa como o TSS, *working balance* ou *baton-touch*.

### **3.4.3. Células de produção flexível**

Dependendo da uniformidade sequencial das operações no processo de fabrico ou montagem, podemos identificar tanto células de fluxo directo como células em que o acesso para processamento é livre a qualquer dos postos de trabalho, portanto células de fluxo inverso. Nesta perspectiva, a designação de célula de produção flexível (CPF) poderá ser vista como equivalente à de sistema de produção flexível, secção 2.2.2.. Eventualmente a designação de SPF poderia ser adoptada para um sistema constituído por algumas CPF interligadas para a produção de produto, ou uma família de produtos, constituídos por vários componentes, incluindo, fabricação e montagem.

Nos SPF há uma preocupação de produção da família de produtos dentro de cada célula sem fluxo intercelular. Fluxo de materiais pode existir entre células mas insere-se, principalmente, numa óptica “fornecedor-cliente”, por exemplo, da fabricação de componentes para a montagem (Silva, 1988), e não na óptica da partilha de meios.

Embora os SPF sejam mais orientados para a indústria metalomecânica devido à facilidade de automatização nesta indústria, encontram nos *unit production systems* (UPS), secção 3.4.1.4., o seu equivalente na indústria de vestuário, calçado e similar (Chen, 1998). Numa óptica similar, embora recorrendo a meios menos automatizados,

desenvolvem-se os sistemas *flexible work group* (FWG), secção 3.4.1.3., ou sistemas de produção modular (MMS), secção 3.4.1.2., que não são menos flexíveis. Esta flexibilidade é, no entanto, obtida à custa da polivalência e cooperação entre operadores manuais em linhas de produção e da elevada autonomia da equipa.

A discussão tida até aqui permite observar algumas diferenças relativamente às configurações conceptuais presentes nas configurações operacionais recomendadas para satisfazer os objectivos da produção JIT, produção QRM e a chamada produção flexível, Tabela 4.

**Tabela 4. Relacionamento das configurações conceptuais com as configurações operacionais de SPOP**

Classes	Configurações conceptuais		Configurações operacionais		
	Designação	Siglas	CJIT	CQRM	CPF
			TSS, OPF, FWG, MMS, UPS, L-CMS, QRS		
BÁSICAS	Célula de Posto Único	CPU	--	--	✓✓
	Célula de Fluxo Directo s/ Transposição	CFD	✓✓	✓✓	✓✓
	Célula de Fluxo Directo c/ Transposição	CFDT	✓✓	✓✓	✓✓
	Célula de Fluxo Inverso	CFI	--	✓	✓✓
NÃO BÁSICAS	Célula Partilhada de Posto Único	CPPU	--	--	✓
	Célula Partilhada de Fluxo Directo s/ Transposição	CPFD	--	✓✓	✓
	Célula Partilhada de Fluxo Directo c/ Transposição	CPFDT	--	✓✓	✓
	Célula Partilhada de Fluxo Inverso	CPFI	--	✓✓	✓

✓✓: preferido; ✓: aceitável; --: não recomendado

### 3.4.4. Células virtuais

Das configurações operacionais que se podem conceber merecem particular referência as células virtuais pelo seu elevado potencial, catalisado pelas TIC e, ainda pelo facto de, em teoria, muitas, se não todas, as configurações operacionais se poderem configurar também como células virtuais, apesar de a prática poder desaconselhar a concepção virtual de algumas.

Dois significados principais podem ser referidos para o termo Sistema Virtual de Produção (SVP). O primeiro refere a SPV como um modelo em computador que representa um sistema real nas suas componentes física e lógica, isto é operacional, que pode ser utilizado no processo de estudo do comportamento do sistema e no seu planeamento e controlo. Esta interpretação é apresentada por vários autores, incluindo Lee (1997) e Iwata (1995).

O segundo refere-se a SVP como um sistema de produção resultante da integração puramente lógica, não física, dos recursos necessários à produção de um artigo ou uma

família de produtos semelhantes. É na acepção deste segundo significado de sistema de produção virtual também referido na secção 2.3., e em consonância com a visão de McLean, Bloom e Hopp (McLean et al., 1982) que neste trabalho surgem as células virtuais, definindo-as como SPOP virtuais configurados por afectação dinâmica e temporária de unidades de produção para processamento de uma família de produtos numa situação em que não há rearranjo ou integração física das unidades num único local.

Segundo McLean e Brown (1987) sistemas virtuais, que o autor designa por células virtuais, podem ser dinamicamente configurados pelo sistema de controlo de produção na base dos requisitos de produção para um dado período. Uma vez realizada a produção, estas células podem ser desactivadas dando lugar à possibilidade de usar os mesmos recursos na formação de novas células virtuais.

A célula virtual aparece como alternativa atractiva onde a reconfiguração física localizada não pode ser realizada de forma económica ou vantajosa. Isto pode acontecer por algumas razões fundamentais, nomeadamente, porque: a) os meios de produção estão dispersos num espaço local, regional ou global, devendo a sua utilização fazer-se a partir daí; b) a mobilidade física dos meios produtivos é economicamente desvantajosa. Uma situação clara deste facto sucede quando há restrição de meios para afectar aos diferentes SPOP criados; outra resulta da dificuldade de reinstalar equipamentos pesados, como prensas, guilhotinas, ou máquinas-ferramentas de grande porte.

A reunião de equipamento para formar células virtuais, não exige nenhum arranjo prévio deste equipamento segundo alguma forma convencional de organização industrial do espaço fabril, por exemplo organização funcional. De facto, os arranjos virtuais podem nascer de um arranjo funcional mais ou menos permanente ou de um outro baseado em SPOP físicos que se tornam no todo, ou em parte, desactualizados face às variações da procura e do espectro de produtos. Neste caso uma reconfiguração pode ser obrigatória, mas, pelas razões acima referidas a reconfiguração física pode não ser recomendável. A alternativa seria, assim, a reconfiguração em células virtuais.

Drolet et al. (1989, 1996a) apresentam um método para seleccionar o equipamento ou postos de trabalho para a formação de células virtuais, baseado na minimização da distância a percorrer pelos materiais no processo produtivo de cada família de produtos. Os autores partem de um arranjo distribuído inicial que é depois usado para formar as

CV que são temporariamente dedicadas a uma ordem de fabrico. A sua aplicação é indicada para situações bastantes dinâmicas de alteração da composição dos produtos a produzir. Neste caso, a criação de células reais com rearranjo físico, em oposição a virtuais com arranjo virtual, teria uma existência efémera uma vez que a família de produtos se alteraria no curto prazo. Tal situação obrigaria à criação dinâmica de células reais o que seria inapropriado em muitos casos industriais sob o ponto de vista económico e eficácia produtiva, sendo as células virtuais uma alternativa viável de produção orientada ao produto por não requerer o arranjo físico inter-operacional do equipamento ou postos de trabalho.

As CV podem, de uma forma simplificada, serem entendidas como mecanismos eficientes de gestão do uso de recursos dispersos. São, portanto, células de produção organizadas apenas a nível de controlo de produção e, normalmente, de existência efémera, dissolvendo-se sempre que um novo produto ou família de produtos “reclamam” o uso dedicado dos recursos existentes (Kannan e Ghosh, 1996). Tais células reúnem características operacionais peculiares e assumem formas dinâmicas próprias sumariadas e ilustradas em Drolet et al. (1996a).

Talvez os grandes méritos das células virtuais sejam a facilidade da sua configuração dinâmica e a capacidade de beneficiarem de importantes vantagens das células não virtuais como, por exemplo, a redução nos custos de preparação para a produção e o melhor controlo do progresso dos trabalhos.

Uma vantagem geralmente apresentada para a defesa da adopção de células de produção é a reduzida movimentação de materiais ou distâncias de movimentação que são necessárias para a produção dos produtos numa célula. Daqui resulta a possibilidade de mover pequenos lotes ou mesmo unidades de artigo, num fluxo praticamente contínuo entre postos de trabalho, ou explorar as vantagens das estratégias de *lot overlapping* e *lot splitting*, reduzindo os tempos e as quantidades em curso e potenciando elevadas taxas de produção. Estas vantagens estão comprometidas, em certa medida, nas chamadas EV, mas pode inteligentemente serem exploradas em CV contidas num espaço industrial restrito, geralmente local. Por exemplo, Drolet et al. (1996a) consideram as células virtuais adequadas para suportar a flexibilidade e reconfigurabilidade das fábricas do futuro, com postos de trabalho e sistemas de manuseamento e transporte automatizados e integrados por computador. Esta situação

configura o que podia designar-se por células virtuais de produção flexível (Silva e Alves, 2001).

Explorando a reconfiguração virtual das células e contemplando as alternativas de fluxos de trabalho de materiais referida na Figura 2, pode-se criar um paralelo com as configurações conceptuais e gerar, assim, um conjunto de células operacionais, do tipo virtual, ao referido na Tabela 4.

Se é possível em grande medida alcançar os objectivos JIT através de células básicas localizadas, tal não é igualmente viável através das células virtuais. Isto não inibe a possibilidade de criar células virtuais JIT, se isso se afigurar vantajoso e eventualmente necessário. Tal pode suceder face a oportunidades próprias oferecidas por estas células e a restrições de acesso a meios principais de produção.

Ainda que seja enfatizada a necessidade de usar células do tipo básico em ambiente de QRM para facilitar a autonomia e o controlo do fluxo de produção por parte da equipa responsável, o bom funcionamento das células e garantia da qualidade e prazos de entrega, casos haverá que tal não será apropriado.

Por isso a admissão de células partilhadas do tipo QRM é assumida. Se essa partilha tiver de ser dinâmica devido à variabilidade da procura e prazos de entrega assumidos, então a reconfiguração frequente de células de produção é necessária estando, por isso, criadas as condições para equacionar a reconfiguração virtual de células QRM. Daqui poderão resultar vantagens operacionais não despendidas. Pode-se portanto, mantendo dentro do possível as premissas operacionais do ambiente QRM, configurar células virtuais QRM. Isto é, aliás, assumido embora relutantemente por Suri (1998), um acérrimo defensor da abordagem QRM.

No entanto, no sentido de manter a pureza operacional das células QRM, sugere que a estratégia operacional *time slicing* seja utilizada. Isto significa que apenas o recurso partilhado, que poderá sê-lo numa lógica virtual, seja partilhado em “fatias” de tempo com total posse e autonomia por cada equipa de trabalho durante a “fatia” que lhe é afectada.



### **3.4.5. Células ágeis**

No âmbito da produção ágil, um SPOP pode estar constituído por células, designadas de células ágeis, tendo subjacente, para atender a este objectivo os conceitos nucleares, os princípios de concorrência e as características da produção ágil identificados em Kidd (1994) e expostos na secção 2.2.5..

Neste trabalho considera-se que uma célula ágil pode assumir qualquer uma das configurações operacionais definidas anteriormente contanto que o atributo de agilidade seja satisfeito.

Ramasesh et al. (2001) consideram que a agilidade pode atingir diferentes graus ao longo de diferentes dimensões e que estas podem interagir numa variedade de formas dependendo da configuração do sistema e do ambiente dinâmico em que se encontra. Aqui partilha-se dessa ideia e considera-se que uma célula ágil pode também interagir com outras configurações operacionais (ágeis ou não) de formas diferentes. O estabelecimento de relações entre configurações é dinâmico de acordo com o produto em produção, podendo formar-se relações temporárias de maior ou menor duração entre as mesmas ou diferentes configurações.

## **3.5. MODOS OPERATÓRIOS DE CÉLULAS DE PRODUÇÃO**

Qualquer célula de produção é concebida para a produção de uma dada quantidade de artigo por unidade de tempo, i.e. para satisfazer uma dada taxa de produção resultante da procura do mercado. Esta taxa é determinante do número de postos de trabalho necessários numa célula de produção. O número de operadores pode, no entanto, ser igual ou inferior ao número de postos. Tudo depende, por um lado, da necessidade de atendimento permanente ou não do posto durante a produção e por outro, da necessidade de produzir à taxa para a qual a célula foi concebida. Sendo o atendimento permanente obrigatório, à taxa máxima de produção o número de operadores é igual ao número de postos de trabalho. Se, o atendimento não for permanente ou não for necessário produzir à taxa máxima, então o número de operadores necessário é inferior ao número de postos de trabalho.

Por vezes, concebe-se uma célula para produzir à taxa máxima e acomoda-se nela a taxa real, geralmente inferior. Esta acomodação significa, normalmente ter de reduzir o número de operadores da célula em relação às suas necessidades máximas.

Eventualmente, havendo postos replicados, i.e. equivalentes ou iguais, a manutenção de procura inferior à máxima prevista deve levar à redução do número dos postos de trabalho da célula.

O não atendimento permanente de um posto de trabalho significa que o seu ciclo de produção é semi-automático ou que o equipamento é naturalmente subutilizado por razões de dimensionamento ou processo. Claro está que, sendo automático, teoricamente, não haveria necessidade de atendimento humano. Na prática isto não é totalmente viável por haver sempre componentes de trabalho preparatórios ou de supervisão que obrigam a algum atendimento mesmo em situações supostamente automáticas.

Nas situações em que o número de operadores numa célula é maior que um, mas inferior ao número de postos de trabalho justifica-se pensar em formas de utilização da mão de obra que fogem do padrão clássico de atribuição de um operador a uma máquina ou posto, explorando formas operatórias de actividades múltiplas no contexto integrado de células de produção. O conceito de actividades múltiplas, i.e. um operador vários postos de trabalho não é novo, referido na secção 3.4.1 no âmbito das células JIT. Um conceito parecido tem estado tradicionalmente associado a unidades de produção com ciclos semi-automáticos onde se explora o conceito de actividades múltiplas mas semelhantes porque os postos são equivalentes, secção 2.2.3..

No caso das células de produção esta problemática poderá coexistir com a subcarga resultante da produção a taxas inferiores à máxima ou do dimensionamento excessivo de recursos do equipamento. Neste caso intensifica-se a necessidade de um operador se distribuir por vários postos, i.e. realizar actividades múltiplas. Existe, portanto um problema a ser resolvido, nomeadamente o de encontrar a melhor forma de afectar e utilizar os operadores na execução das diversas actividades de uma célula. A resolução deste problema está associada a um conjunto diverso de estratégias de afectação designado neste texto de *modos operatórios de células de produção*.

Como se viu na secção 2.4. existem dois tipos de células: as que se configuram como linhas de produção e as que se configuram como oficinas de produção orientadas ao produto. Neste caso os fluxos de produção são complexos não havendo correspondência entre o arranjo relativo dos equipamentos e as sequências operatórias de transformação de cada artigo uma vez que estas sequências são diversas de artigo para artigo. No caso

em que são iguais, o arranjo dos equipamentos pode corresponder à sequência comum a todos os artigos, sendo neste caso a configuração das células do tipo linha de produção.

Apesar da possibilidade de desenhar células do tipo oficina orientada ao produto, na prática tal situação tende a ser invulgar pelas dificuldades de controlo que apresentam, optando, por isso, as empresas e os projectistas de sistemas por outra solução. A tendência é explorar formas fáceis de reconfiguração de sistemas e adoptar as células que se configuram como linhas de produção. Por este facto, enfatiza-se aqui o funcionamento de linhas de produção e analisa-se os modos operatórios de células nesta base.

É também referido como arranjo físico aconselhável para a maioria das células de produção o arranjo em U e a movimentação dos operadores dentro do U no sentido contrário ao dos ponteiros do relógio pela maioria das pessoas serem dexteras e considerar-se que facilita a tarefa de pegar nos produtos (Black e Schroer, 1994 e Black e Chen, 1995). Este arranjo é largamente adoptado na indústria por razões que têm a ver com a facilidade operatória e flexibilidade do uso da mão-de-obra. Sendo estes dois aspectos cruciais aos modos operatórios, utiliza-se e põe-se em confronto o arranjo em U e o arranjo linear de células de produção, Figura 13 para ilustrar as características, o funcionamento, as vantagens e desvantagens dos diferentes modos operatórios, sendo mais conhecidos os seguintes: *working balance* (WB), *rabbit-chase* (RC) ou *caravan*, *toyota sewing system* (TSS), *baton-touch* (BT) e *bucket-brigades* (BB).

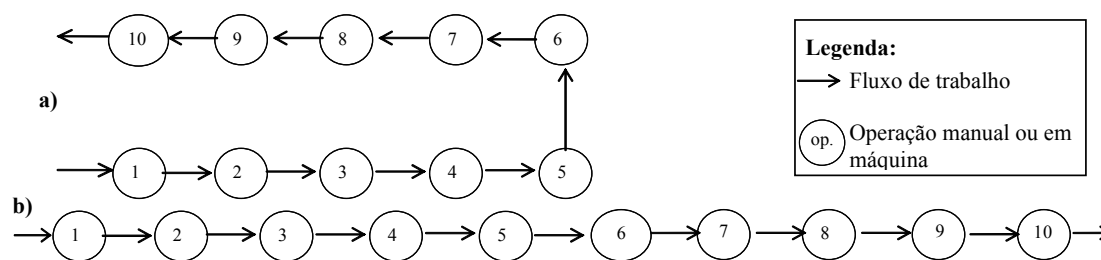
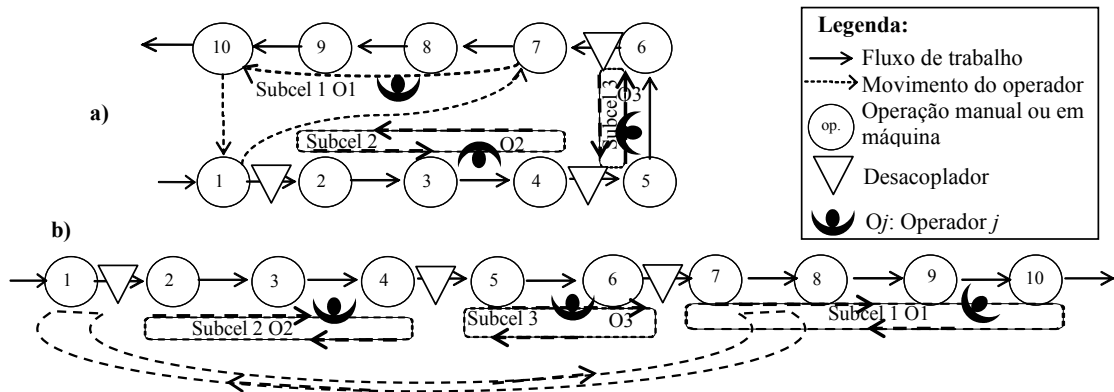


Figura 13. Arranjos base para comparação entre modos operatórios a) arranjo em U; b) arranjo linear

### 3.5.1. Working balance

O modo operatório *working balance* (WB) é provavelmente o mais intuitivo e tradicionalmente aplicado. Na sua essência consiste em distribuir de forma equilibrada a carga manual pelos diferentes operadores e afectar a cada um, de forma invariável e permanente, um dado número de tarefas ou operações que constituem os postos de

trabalho com tempos de processamento acumulados aproximadamente iguais. Cada operador vai ter uma zona de actuação ou secção considerada como uma subcélula (Black e Chen, 1995). A Figura 14 ilustra os dois arranjos postos em confronto, i.e. em U e linear.



**Figura 14. Representação do modo *working balance* a) num arranjo em U; b) num arranjo linear**

Pode-se desde já tecer algumas considerações sobre a concepção e funcionamento de células operadas neste modo. Como se observa, cada operador tem uma zona de actuação que não se mistura com a do seu vizinho, sendo responsável nesta zona por executar as tarefas que lhe estão confiadas. Esta zona de actuação pode incluir operações dos dois lados da célula levando o operador a atravessá-la tal como apresentado na subcélula 1 onde o operador 1 (O1) executa as operações 1, 7, 8, 9 e 10 no seu posto de trabalho o que não constitui nenhum problema neste modo operativo no arranjo em U.

O mesmo não se pode dizer em relação ao arranjo linear pois a análise da Figura 14, mostra claramente que a solução b) requer grande mobilidade do operador O1 num vaivém constante do início para o fim da linha. Este vaivém é altamente punitivo para o operador O1 e para a produção que tem perdas de tempo na deslocação entre as operações 10 e 1 no seu posto de trabalho. O arranjo em U permite simplificar a tarefa do operador O1, mantendo o mesmo balanceamento, i.e. a distribuição de carga pelos operadores, permitindo-lhe ainda fácil controlo de entradas e saídas do artigo no início e fim da linha, respectivamente.

Confrontando o arranjo linear com o em U verifica-se que a interacção informal, é muito mais potenciada no arranjo em U do que no linear. É também visível a possibilidade de fazer combinações de afectação no arranjo em U que seriam desaconselhadas no arranjo linear. Assim, por exemplo, operações alternadas na

sequência de fabrico são de certa forma afectáveis ao mesmo operador no arranjo em U, sendo desaconselhável ou impossível fazê-lo no arranjo linear. Aparentemente, a regra subjacente à maioria de métodos de balanceamento clássico, de só afectar a um operador operações subsequentes de outras já afectadas pode ser quebrada no arranjo em U facilitando o processo de balanceamento e distribuição de carga. Este exemplo ilustra o que se disse atrás em relação ao facto do arranjo em U flexibilizar e facilitar a distribuição de tarefas e carga pelos operadores.

Ao mesmo tempo, este modo operatório impõe algumas limitações. A primeira exigência ou limitação é que o trabalho tem de ser organizado com cuidado e distribuído equilibradamente, i.e. balanceadamente, de forma a que cada operador, de acordo com as suas competências e desempenho, possa realizar o trabalho e juntamente com os outros garantirem taxas de produção planeadas. Este processo pode ser complexo e usualmente resulta em situações desequilibradas, devido à dificuldade de separação ou divisão de tarefas, à variabilidade de vários parâmetros tecnológicos e organizacionais, por exemplo, desempenhos diferentes dos operadores. A complexidade agrava-se perante situações de absentismo ou outras que obriguem à substituição temporária de operadores.

A outra grande limitação reside na falta de flexibilidade. Qualquer alteração das condições operatórias ou premissas do projecto obriga a um trabalho laborioso e de reconfiguração da célula e de afectação de tarefas.

Estas exigências apontam para a dificuldade de usar o método perante a necessidade de reconfiguração rápida das células resultante, por exemplo, da redução da procura ou, mais frequentemente, da necessidade de mudança de produto a fabricar. É evidente que esta necessidade de reconfiguração é menos exigente e frequente perante uma situação de produção misturada e nivelada de artigos vulgarmente utilizada em ambiente JIT. No entanto, o balanceamento nesta situação, usando *working balance* não deixa de ser complicado e provavelmente pouco eficiente pelas razões apontadas.

A perturbação ou perda de eficiência resultante da variação local dos tempos operatórios pode, quer no caso do WB, quer noutros modos operatórios, ser largamente atenuada através do uso de armazenamento local entre as zonas de actuação dos operadores, desacoplando, em grande medida, as tarefas de um operador das dos outros. É por isso que são usados armazéns localizados, também vulgarmente conhecidos como “*buffers*”

ou “*decouplers*” (Black e Schroer, 1988), já referidos. As subcélulas começam a fazer uma nova peça apenas quando a peça do “*decoupler*” é removida pelo próximo operador na sequência ou retirada da célula num controlo tipo *pull*.

### 3.5.2. Rabbit chase

O modo *rabbit chase* (RC) no essencial resume-se a permitir que de forma ordenada cada operador execute todas as tarefas do processo produtivo de uma célula do princípio ao fim da linha, sem ultrapassar outros operadores, num movimento de operação em operação e, controlando assim todas as actividades de transformação. Este modo permite que a linha seja operada por um único operador, se as taxas de produção não exigirem mais, mas o seu nome resulta do facto de ser operado por dois ou mais. Neste caso cada um segue, i.e. “chases”, o outro executando sucessivamente e exactamente o mesmo tipo de tarefas em produtos ou peças sucessivas.

O modo *rabbit chase* exige um grau de polivalência total e desempenhos similares e equilibrados para todos os operadores da célula para que possa ser implementado. Este modo dá a cada operador a responsabilidade de executar e controlar todo o processo associado à produção do produto na célula, desde o início do processo até ao fim, obrigando-o a percorrer o sistema, com o “seu” produto ou peça, executando ou controlando todas as fases de processamento (Black e Chen, 1995), Figura 15.

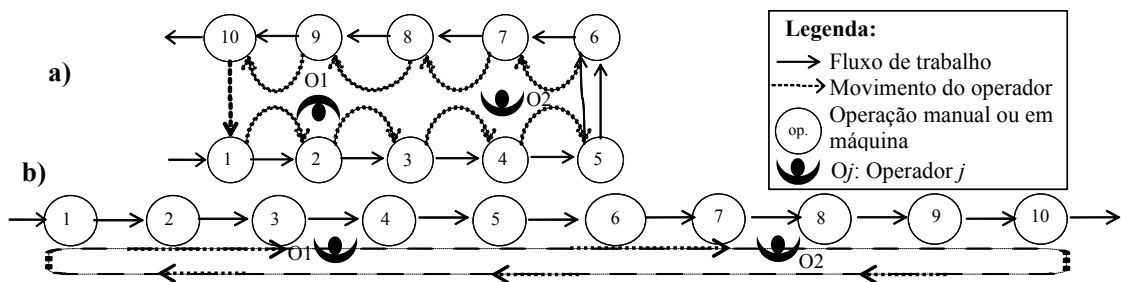


Figura 15. Representação do modo *rabbit chase* a) num arranjo em U; b) num arranjo linear

Comparando as características e potencial de desempenho do arranjo em U com o linear, mais uma vez se vêem claras vantagens do primeiro em relação ao segundo. Em particular é de realçar o movimento muito mais reduzido em vazio, i.e. depois da execução da última operação, para iniciar a primeira do produto seguinte, do arranjo em U em relação ao linear.

Como a peça está sempre com o operador não existe a necessidade de *decouplers* nem a necessidade de uma distribuição de tarefas pelos operadores portanto, a questão de

balanceamento de carga não se põe. A capacidade de produção neste caso, sendo dependente do número de operadores no sistema, é também limitada pelo operador mais lento. Se por um lado, no que concerne ao alargamento de tarefas vê-se neste método a sua expressão extrema, pode-se no entanto concluir, que o espírito de equipa não é necessariamente implementado e eventuais conflitos podem surgir.

Conflitos entre operadores, perda de produção, incentivos de produtividade difíceis de implementar e custos de formação elevados para obter um grau de polivalência requerido para todos os operadores podem ser alguns dos inconvenientes deste modo operatório.

No entanto, o RC sendo um modo radical de operar células, tem muitos pontos fortes inquestionáveis, alguns já mencionados. Adicionalmente, podem-se apontar ainda os seguintes: independência dos operadores na execução e controlo do trabalho, fácil ajuste da capacidade por alteração do número de operadores, fácil rastreabilidade da qualidade indexada aos operadores, balanceamento inter-operadores desnecessário e fácil reconfiguração operatória do sistema.

Baudin (2003) designa este modo de *caravan* e considera que a célula deve ser limitada a dois operadores mas Black e Chen (1995) não impõe esta restrição mostrando, no entanto, que o congestionamento é menor com três ou menos operadores.

### 3.5.3. Toyota sewing system

Tipicamente no modo operatório *Toyota sewing system* (TSS) estão três a cinco operadores na célula que trabalham em pé operando dez a quinze máquinas, i.e. mais máquinas que operadores (Black e Chen, 1995). Operadores polivalentes partilham as tarefas e passam o trabalho aos outros como se passa o testemunho numa corrida de estafetas, Figura 16.

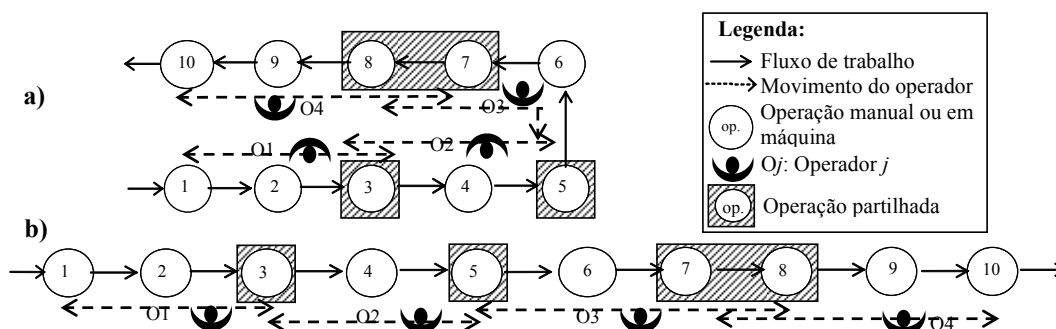


Figura 16. Representação do modo TSS a) num arranjo em U; b) num arranjo linear

Tal como os modos operatórios descritos anteriormente, os operadores movimentam-se com a peça no sentido contrário aos do ponteiro do relógio, operando sempre nos postos adjacentes. Quando são bloqueados pela ocupação da máquina por outro operador e se existirem *decouplers* na célula colocam a peça no *decoupler* entre os postos, tal como no modo WB. Se não existirem *decouplers* o operador deve esperar até que a máquina fique disponível. Alguns autores como Bartholdi et al. (1995) e Kalta et al. (1998) não consideram a existência de *decouplers* pois a armazenagem temporária entre postos não é normalmente permitida. Quer num caso quer no outro quando o operador está sem peça movimenta-se no sentido dos ponteiros do relógio até encontrar uma peça num *decoupler* ou nas mãos de outro operador, tirando-a das mãos deste recomeça o movimento no sentido das operações a executar.

A afectação de operações aos operadores não é fixa e permanente não estando os operadores restringidos a uma zona de actuação pelo que estes podem desenvolver padrões de trabalho com certos operadores a tomarem a total responsabilidade por certas operações num posto e outras operações em zonas adjacentes ou de sobreposição, a serem partilhadas pelos postos, como ilustrado na Figura 16. Relativamente ao arranjo ser em U ou linear, aqui a vantagem não está na redução do tempo de deslocação como nos modos anteriores mas na promoção da cooperação e comunicação entre todos os membros da equipa facilitada pelo arranjo em U mas dificultada pelo arranjo linear.

Como vantagens da implementação deste modo tem-se o incentivo a uma certa autonomia e responsabilidade pelo trabalho dentro da célula e à promoção da auto-organização, ao contrário do modo WB. No TSS é ainda implementado o conceito de estafeta não existente no WB promovendo desta forma a entreaajuda e regulação do fluxo de trabalho.

Como desvantagens pode-se apontar o facto de não existindo *decouplers*, como alguns autores referem, um operador mais lento numa determinada operação pode atrasar a produção pois obriga o outro operador a esperar não podendo ultrapassá-lo. Ainda e tal como se vê na Figura 16, a primeira e a última operação são da responsabilidade do primeiro e do último operador, respectivamente, pelo que a vantagem de ser o mesmo operador a controlar as entradas e saídas no início e no fim da linha, respectivamente, não é aproveitada. Perdem-se também assim vantagens do mesmo operador poder fazer operações alternadas e opostas na célula mesmo no arranjo em U.



### 3.5.4. Baton-touch

Outro modo operatório que parece apresentar semelhanças com o TSS mas também com o WB é o modo *baton-touch* (Baudin, 2003). Tal como no TSS também aqui os operadores podem desenvolver padrões de trabalho. As diferenças com o TSS parecem estar na possibilidade dos operadores atravessarem a célula, não serem portanto apenas operações em postos adjacentes, e o mesmo operador poder fazer a primeira e última operação de lados contrários da célula em arranjo em U. Neste modo operatório este operador tem também o papel de líder executando outros trabalhos como alimentando a célula, substituindo outros operadores, preenchendo documentação necessária entre outros.

As semelhanças com o WB prendem-se com o facto dos operadores poderem trabalhar quer nas operações em postos adjacentes quer nas operações em postos opostos, Figura 17, trazendo esta situação os mesmos problemas ao arranjo linear ao modo *baton-touch* já referidos no WB e visíveis na Figura 17.

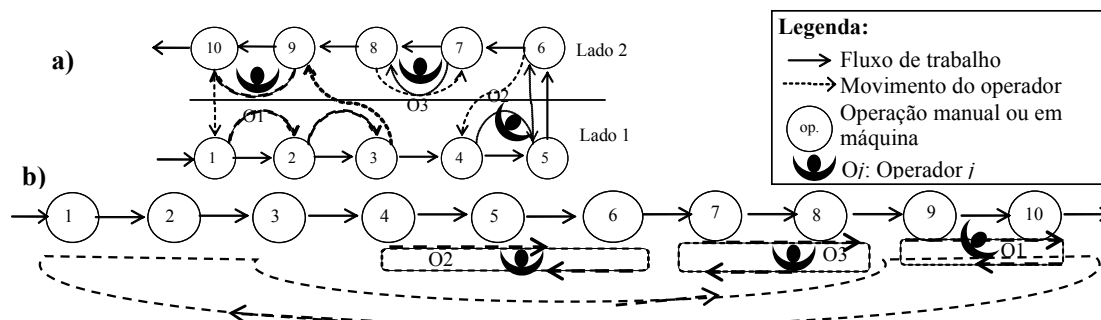


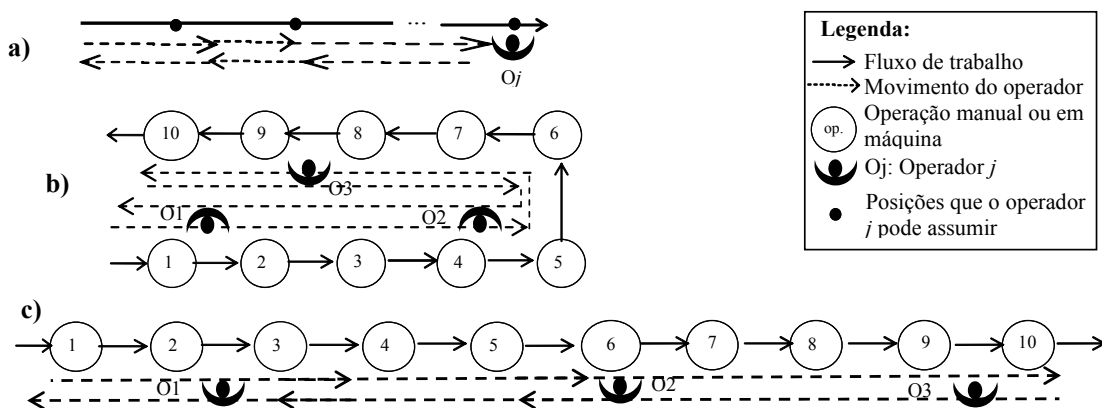
Figura 17. Representação do modo *baton-touch* a) num arranjo em U; b) num arranjo linear

As diferenças estão na afectação de uma zona de actuação no WB, mas inexistente neste modo que permite flexibilidade aos operadores no desenvolvimento dos seus padrões de trabalho. Pelas características referidas está-se perante um modo operatório que consiste num híbrido de TSS e WB.

### 3.5.5. Bucket-brigades

Bartholdi et al. (1995) considera o TSS, descrito anteriormente, uma implementação do modo designado de *bucket-brigades*. Este é uma abordagem mais geral apresentada por Bartholdi e Eisenstein (1996) e Bartholdi et al. (1999) que consiste numa forma de coordenar operadores que montam progressivamente um produto ao longo de uma linha na qual existem menos operadores que máquinas.

A representação deste modo na sua abordagem geral está na alínea a) da Figura 18. Os operadores são colocados sequencialmente do mais lento para o mais rápido ao longo do sentido do fluxo das peças. Eles movimentam-se ao longo da linha com a peça e vão executando as operações necessárias sem estarem restringidos a nenhuma zona específica. Se o operador chega a um posto que está ocupado deve esperar até que o posto fique desocupado, ele não pode ultrapassar o posto ocupado nem procurar outro trabalho. No fim do processo o operador termina a sua peça e a linha reconfigura-se: o operador movimenta-se em sentido inverso retirando a peça do seu antecessor que larga a peça e movimenta-se em sentido inverso tirando a peça ao seu antecessor e, assim, até o primeiro operador recomeçar uma nova peça. Os operadores seguem uma regra básica neste modo operatório: *“Carry work forward, from station to station, until someone takes over your work; them go back for more”* (Bartholdi e Eisenstein, 1998).



**Figura 18. Representação do modo *bucket-brigades* a) abordagem geral; b) arranjo em U; c) arranjo linear**

Qualquer um dos arranjos pode ser adoptado neste modo operatório, sendo preferido o arranjo em U se se pretender promover a comunicação e cooperação entre os operadores.

Como vantagens deste modo operatório tem-se que como a afectação de tarefas a postos não é fixa e permanente não necessita de ser cuidadosamente balanceada pois o movimento dos operadores equilibram a linha. Pode dizer-se que a linha é auto-balanceada não requerendo, por isso, a medição precisa dos tempos de processamento evitando assim o custo do estudo de tempos. Esta auto-organização pelos operadores reduz o tempo requerido para reconfigurar a linha e não requer planeamento central pela gestão porque cada entidade segue uma regra local. Este comportamento socialmente

simples é inspirado em exemplos da natureza, por exemplo, no comportamento das abelhas e das formigas (Bartholdi e Eisenstein, 1998).

Adicionalmente, a implementação da regra básica referida faz com que o sistema funcione como um sistema *pull*, onde o trabalho em curso é controlado, simplificando a tarefa de gestão que não precisa de intervir para manter o trabalho balanceado e taxa de produção elevada pois os operadores não se confundem com a tarefa a fazer de seguida (Bartholdi e Eisenstein, 1996). O manuseamento manual e permanente das peças inviabiliza a necessidade de outro sistema de manuseamento de material.

Normalmente existem mais máquinas que operadores. Estas são baratas relativamente ao custo dos operadores evitando-se desta forma os custos devido à baixa utilização do equipamento. Este sistema enfatiza, assim, mais o trabalho em equipa do que a tecnologia avançada, permitindo ainda uma interacção motivante e muita flexibilidade na execução do trabalho. A facilidade que oferece na operação e reconfiguração de célula faz dele um método revolucionário.

Os operadores polivalentes e o baixo nível de trabalho em curso são necessários para aumentar a flexibilidade e reduzir o tempo de entrega para fazer face a uma procura para os produtos que varia significativamente. As taxas de produção são rapidamente ajustadas retirando ou colocando mais operadores.

A principal desvantagem consiste na classificação do operador apenas com base numa medida: a sua velocidade, enquanto que outras medidas podiam ser empregues para afectar os operadores. Pode ainda ocorrer outra desvantagem que é a possível introdução de atrasos quando o operador retira a peça do seu antecessor.

### 3.5.6. Modos operatórios e trabalho em equipa

Para melhor distinguir os modos operatórios descritos é apresentada a Tabela 5 que realça as principais diferenças entre estes modos.

**Tabela 5. Comparação dos modos operatórios**

	WB	RC	TSS	BT	BB
Balanceamento	✓	O	O	O	O
Afectação	✓	O	✓	✓	✓
Entreaajuda	O	O	✓	✓	✓
Polivalência	✓	✓	✓	✓	✓
Trabalho em equipa	O	O	✓	✓	✓

✓: obrigatório; O: livre; não condicionado

Nesta tabela é visível uma forma de operar células diferente da forma tradicional de operar sistemas de produção em geral, e linhas de produção ou células em particular já descrito na secção 2.2.1. Essa forma de operar começou a ser contestado em 1960 por vários autores (Graça, 2002a) continua a ser posto em causa (Totterdill, 1995; Duguay, 1997; Kovács e Castillo, 1998; Graça, 2002b) quer por razões técnicas pois baseia-se na estabilidade do mercado em massa que é pouco comum nos dias de hoje quer por razões sociais pelas duras condições de trabalho que impõe aos operadores.

Adicionalmente, há uma variedade de razões que justificam a adopção de outros modos de operar as células onde o operador realize mais e/ou diferentes operações produtivas explorando estratégias como a rotação, alargamento ou enriquecimento de tarefas (Alves et al., 2003). O alargamento de tarefas pode ser adquirido juntando tarefas anteriormente fragmentadas ou através da rotação das pessoas por diferentes tarefas. Quer num caso quer no outro o operador torna-se polivalente, sendo a necessidade de polivalência algo em comum entre todos os modos, embora, usualmente menor no WB do que no TSS e menor ainda do que no BB, sendo o RC o que mais requer polivalência. O enriquecimento do trabalho está intimamente ligado ao trabalho em equipa e, contendo as componentes do alargamento, projecta-se para além deste através da autonomia no planeamento e controlo do trabalho a realizar, aumentando a autonomia e a responsabilidade quer da equipa quer de cada membro desta.

As razões referidas prendem-se com as novas filosofias associadas à humanização do trabalho e à exploração do potencial criativo, de motivação dos operadores e de trabalho em equipa. Estas remetem para situações típicas dos modos operatórios descritos que não só alargam o âmbito das tarefas, incorporando um conjunto de operações diferentes, sob a responsabilidade de um operador como lhe atribuem responsabilidade de controlo da qualidade do trabalho executado. Em qualquer um dos modos apresentados pode-se observar graus de autonomia e responsabilização variáveis. Esta abordagem de valorização do trabalho humano é, assim, mais consensual com as exigências de um trabalho constantemente em mudança nos dias de hoje e traz sinergias benéficas ao processo produtivo como um todo e, por conseguinte, à empresa.

Efectivamente uma característica importante subjacente a estes modos operatórios é a formação de equipas ou grupos de trabalho. Embora os termos “equipa” e “grupo” sejam aqui usados indistintamente, na realidade eles podem ser muito diferentes

(Katzenbach e Smith, 1993), mostrando-se algumas definições e diferenças em Alves et al. (2003). A formação das equipas pode ter origem em duas abordagens: a abordagem sociotécnica desenvolvida pelo *Tavistock Institute* e a abordagem do *Lean Production* (Badham e Couchman, 1996; Niepce e Molleman, 1996; Meer e Gudim, 1996; Engström et al., 1996; Amelsvoort e Benders, 1996; Schuring, 1996; Badham et al., 1998; Benders e Van Hootegem, 2000; Procter e Mueller, 2000; Kuipers et al., 2004).

As equipas formadas no âmbito do *Lean Production*, secção 2.2.4., designadas de *lean team* (Niepce e Molleman, 1996) ou *han* (Amelsvoort e Benders, 1996) são constituídas por operadores polivalentes seleccionados pela administração. Os líderes destas equipas são também seleccionados pela administração e assumem um papel de supervisores hierárquicos. Estas equipas realizam tarefas de controlo, execução e manutenção que lhes são distribuídas e afectas, e seguem procedimentos normalizados. A autonomia fica-se pela gestão e garantia de qualidade através dos chamados círculos de qualidade e de melhoria contínua (Suzaki, 1993; Forza, 1996).

A abordagem sociotécnica está na origem dos Sistemas Antropocêntricos de Produção (SAP), em oposição aos sistemas tecnocêntricos como o modelo *Fordista* referido (Kovács e Castillo, 1998). Os sistemas antropocêntricos de produção elevam fundamentalmente a dimensão humana através do conteúdo mais atraente das tarefas, da promoção da cooperação, participação e da comunicação, das possibilidades de aprendizagem e auto-organização. De acordo com Kovács (1992) um SAP pode ser definido “como uma organização descentralizada de tecnologias avançadas e de recursos humanos qualificados em que no nível operacional se controlam a tecnologia e a organização de trabalho” (Kovács, 1992).

A designação mais usada para as equipas formadas no âmbito abordagem sociotécnica é a de grupos de trabalho semiautónomos (GTSA) embora na nomenclatura inglesa designações como *autonomous work groups*, *self-managing work teams*, *self-directed teams*, podem ser encontradas. Os exemplos de aplicação provêm essencialmente de fábricas de automóveis na Suécia (fábrica de Kalmar e Udevalla da Volvo) dos anos 70.

As equipas são constituídas por operadores polivalentes com elevado nível de competências seleccionados pela própria equipa. O líder de cada grupo era eleito pelos seus pares, não era nomeado pela administração, tornando-se este um “facilitador” em vez de supervisor (Molleman, 2000). Estas equipas realizam, além das tarefas de

recrutamento/selecção e formação de pessoal, um conjunto de tarefas e funções interligadas que implicam condições básicas que sustentem a sua capacidade de autogestão como o conhecimento, por parte de todos os elementos do grupo, das tarefas a serem realizadas sejam tarefas operatórias ou de controlo, manutenção e planeamento, das decisões que podem ou devem tomar, das ferramentas e equipamentos que pertencem ao grupo, do tipo de incentivos imputáveis ao indivíduo ou ao grupo e dos limites relativos à organização. A relação entre os membros da equipa é igualitária, sem subordinação nem hierarquia.

Os GTSA são vistos por alguns autores, nomeadamente, Aspinall (2000) e Graça, (2002b) como novas formas de organização do trabalho que trazem inúmeras vantagens para a empresa e para o operador como a maior satisfação pessoal e maiores oportunidades de remuneração, maior eficiência, melhor qualidade, redução do absentismo e melhoria das relações laborais.

Conhecendo as vantagens e desvantagens de uma e outra abordagem é possível encontrar formas híbridas que integrem o que cada uma tem de melhor através do desenvolvimento de alguns dos elementos da *lean production* em direcção ao sistema antropocêntrico complementando as potencialidades da tecnologia informatizada com as capacidades especificamente humanas, isto é, deixando espaço para a intervenção humana apelando ao saber, à criatividade e à iniciativa dos indivíduos e dos grupos.

São vários os exemplos de empresas referidas em Graça (2002a) que procuraram e procuram esta integração inspirando-se nos modelos sociotécnicos das fábricas referidas da Volvo dos anos 70 na Suécia. Actualmente estas fábricas já não funcionam da mesma forma, algumas forçadas por uma conjuntura socio-política, reintroduziram a forma tradicional de operar linhas de montagem (Jonsson et al., 2004 e Engström et al., 2004) apesar do esforço constante destes autores em mostrar as vantagens das formas alternativas (Engström et al., 1996). Outras, enquadradas num contexto socio-cultural diferente, procuraram a integração entre as duas abordagens (Thompson e Wallace, 1996; Van Hootegem et al., 2004 e Wallace, 2004).

Independentemente da equipa de trabalho formada, qualquer modo operativo descrito com arranjo em U pode ser adoptado, embora uns sejam mais adequados para um tipo de equipa do que outro. A importância do arranjo em U para promover a cooperação e comunicação entre os membros da equipa é visível nas Figura 14, Figura 15, Figura 16,

Figura 17 e Figura 18 das secções anteriores e a adopção de um arranjo linear em vez do arranjo em U pode ter efeitos nefastos numa abordagem sociotécnica como descreveu Oudhuis (2004). Aqueles modos que fazem o maior apelo ao trabalho em equipa com autonomia para tomar decisões locais de organização e distribuição de tarefas são mais adequados para os GTSA. A tomada de decisões local é tanto mais necessária quanto maior for a instabilidade da procura e os modos operatórios que implementam formas híbridas ou aproximadas dos GTSA são preferidos pela sua maior flexibilidade e agilidade.

Assim, no que concerne ao trabalho de equipa nos modos operatórios, são os modos TSS e BB onde este mais se manifesta e o RC onde se manifesta menos. Claramente que situações de trabalho em equipa, ainda mais enriquecidas podem ser concebidas. O modo WB corta com a lógica de estafeta e do trabalho em equipa e condiciona o output da célula às taxas planeadas sem o benefício da aprendizagem. No BB o efeito aprendizagem é automaticamente incorporado no processo permitindo um gradual e automático ajustamento da taxa de produção ao melhoramento de competências e perícia adquirida pelos operadores.

A aplicação dos modos operatórios e equipas de trabalho, associados a preocupações de controlo de qualidade no posto de trabalho e responsabilização ou co-responsabilização pela execução das diferentes tarefas remetem para diferentes configurações operacionais de células descritas de seguida.

### **3.6. VANTAGENS/DESVANTAGENS DE CÉLULAS DE PRODUÇÃO**

As principais unidades operatórias dos SPOP são as células. Estas são consideradas por vários autores, nomeadamente, Wemmerlöv e Hyer (1989), Singh e Rajamani (1996) e Suresh e Kay (1998), como a aplicação prática da Tecnologia de Grupo (TG), sendo esta considerada uma filosofia de organização industrial com princípios aplicáveis nos mais diversos sectores de empresas industriais e de serviços.

A TG através das células traduzem-se em benefícios que têm um impacto geral sobre todas as áreas da empresa e cujas vantagens são sobejamente conhecidas e reconhecidas por vários autores, nomeadamente, Wemmerlöv e Hyer (1989), Nyman (1992), Singh e Rajamani (1996), Suresh e Kay (1998), Kamrani e Logendran (1998), Irani et al. (1999)

e Wemmerlöv e Johnson (1997, 2000), Shayan e Sobhanallahi (2002) e Hyer e Wemmerlöv (2002), entre outros, reflectindo-se em diferentes níveis da empresa.

Ao nível do desempenho operacional as melhorias trazidas pela aplicação da TG incidem sobre os prazos de entrega, a utilização dos recursos de produção (máquinas e pessoas), na qualidade dos produtos e dos processos e no espaço requerido. Como as peças são quase ou completamente processadas dentro da sua célula, a distância a percorrer diminui e, conseqüentemente, o tempo de transporte, permitindo ainda a produção em lotes mais pequenos devido à aproximação das máquinas. Ao agrupar peças com processos similares para produção na mesma célula, os fluxos de trabalho simplificam-se e os tempos de preparação das máquinas diminuem (aumentando a sua capacidade útil) assim como os custos associados contribuindo também para a produção económica de lotes mais pequenos que, conseqüentemente, faz reduzir o trabalho em curso de fabrico e o espaço requerido. A redução destes tempos, de preparação e de transporte, e a não interferência de produtos diferentes na célula fazem reduzir o tempo de produção e conseqüentemente o tempo de entrega de produtos com qualidade, já que se torna mais fácil controlar a ocorrência de defeitos.

Ao nível do desempenho global da empresa as vantagens traduzem-se em melhorias nas outras actividades da empresa como na redução do número de projectos de novos produtos, pois através da identificação de peças similares, reduz-se a variedade e promove-se a normalização; na simplificação do controlo da produção dentro das células; na redução do número de planos de fabrico e na sua rápida recuperação e impressão através da normalização dos planos ajudada pela introdução de sistemas de classificação e codificação (se existir); na simplificação da manutenção que pode ser realizada pelo operador, se tiver formação adequada, e na imposição da manutenção preventiva, uma vez que a avaria de uma máquina pode ser suficiente para parar a produção de uma família de peças; na imputação correcta dos custos e simplificação da contabilidade considerando cada célula como um centro de custos; na definição adequada das quantidades e dos produtos a comprar e ainda na facilidade em fornecer informação correcta sobre preços e prazos de entrega aos clientes.

Produzir em células favorece o desenvolvimento de algumas filosofias através da melhoria dos aspectos operacionais como a redução do tamanho do lote que conduz à uniformização do fluxo de produção (ver o impacto da redução do tamanho do lote na



Figura 12) e à redução do período de intermitência que são princípios básicos da filosofia JIT ou o aumento da motivação do operador através da rotação de tarefas e do seu envolvimento em todas as fases do fabrico do produto que é a base para a gestão da qualidade total (TQM).

Outros desenvolvimentos conceptualmente similares ou relacionados com a produção celular são o *business process reengineering* (BPR) (Hammer, 1990) e a engenharia concorrente (EC) porque ambas pressupõem uma abordagem de sobreposição, tal como decorrem as operações encadeadas nas células, i.e. logo que um artigo acaba de ser processado numa máquina pode imediatamente começar na seguinte que lhe está próxima, e contrariamente à abordagem tradicional de organização sequencial de funções ou de actividades.

O BPR procura, assim, reorganizar as funções típicas de uma empresa tais como o projecto, o planeamento dos processos, a investigação e desenvolvimento, o marketing, ou as finanças, em processos de negócio (BP)<sup>12</sup>. Um processo de negócio pode definir-se como um determinado conjunto estruturado de actividades ordenadas no tempo e no espaço, projectado para satisfazer as necessidades do cliente, reunindo, para isso, equipas multidisciplinares de pessoas e outros recursos. Processos de negócio típicos são, por exemplo, o desenvolvimento de novos produtos e a cadeia de fornecimento (Viswanadham et al., 1998).

A engenharia concorrente ou simultânea possibilita a redução do tempo de desenvolvimento de novos produtos através da realização simultânea de actividades como, por exemplo, o projecto do produto e o planeamento de processos tradicionalmente realizadas de uma forma sequencial, utilizando equipas multifuncionais (Knight, 1998). Estas actividades podem ser realizadas em diferentes empresas distribuídas globalmente no contexto da empresa estendida, secção 2.3., que mostra a engenharia concorrente numa perspectiva tridimensional: o projecto do produto e do processo (primeira e segunda dimensão) e a cadeia de competências que compõem a terceira dimensão (Boardman e Clegg, 2001).

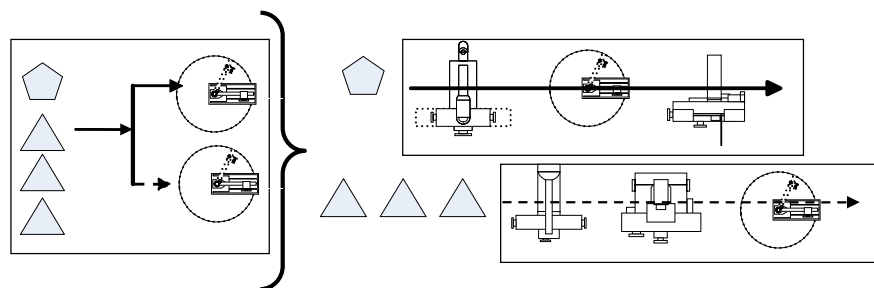
Tu et al. (2004) mostram ainda, através dos dados recolhidos num estudo realizado a empresas norte-americanas, que a produção em células é uma das práticas que possibilita às empresas ter a capacidade de *mass customization*, secção 2.1.3..

---

<sup>12</sup> Business Process

Apesar das vantagens enumeradas, muitas confirmadas por estudos realizados (Wemmerlöv e Hyer, 1989; Slomp et al., 1993; Harvey, 1994; Olorunniwo, 1997; Marsh et al., 1997, 1999; Wemmerlöv e Johnson, 1997, 2000; Johnson e Wemmerlöv, 2004) em empresas que implementaram células (Prickett e Coleman, 1992; Kirton, 1994; Prickett, 1994; Kumar e Motwani, 1998; Dawson, 2001, 2005 e Molleman et al., 2002), também são apontadas desvantagens às células com consequências para o funcionamento do sistema apresentadas de seguida.

Uma dessas desvantagens é a perda do efeito de *pooling*, isto é, o efeito de ter apenas uma fila de espera para as várias máquinas podendo as peças dispor dessas máquinas, Figura 19. Isto é provocado pela partição do sistema funcional em células com filas de espera dedicadas que fazem perder a sinergia de *pooling* (Suresh, 1998). Supondo, por exemplo, que um *pool* de duas máquinas idênticas são divididas em dois grupos para formar duas células A e B. Se os produtos são dedicados às células e não é permitido fluxo intercelular, i.e., não houver partilha de recursos, irão existir momentos em que as máquinas na célula A estarão paradas e as máquinas da célula B terão filas de espera enormes. O impacto desta partição será, principalmente, o aumento das esperas para fabrico e perda da utilização dos meios de produção.



**Figura 19. Perda da sinergia do efeito de *pooling* na conversão de sistemas funcionais para células**

Outras desvantagens são o investimento em novos equipamentos; a necessidade de reimplantação, de balancear capacidade entre células e de racionalizar as ferramentas e as perturbações na normalidade das operações. Adicionalmente, Benjaafar et al. (2002) consideram serem as células inflexíveis devido ao facto de serem projectadas para um conjunto fixo de famílias, assumirem a procura estável e os ciclos de vida dos produtos suficientemente longos e serem inefficientes na presença de flutuações da procura dos produtos existentes ou com a frequente introdução de novos produtos, opinião esta partilhada por Saad et al. (2002).

Para tentar colmatar as desvantagens referidas, estes autores e, ainda, Babu et al. (2000), adoptam configurações que não são mais do que células operacionais de SPOP já discutidas como as células virtuais, secção 3.4.4., e células ágeis, secção 3.4.5..

Pode-se argumentar que as desvantagens referidas são inevitáveis se não houver o devido cuidado no projecto das células e, em particular, no dos SPOP integrando células operacionais diferentes. Daí a importância do estudo destas configurações e de outras configurações e a disponibilização de ferramentas apropriadas ao projecto eficaz de SPOP. Em qualquer caso são também garantidos muitos benefícios no uso de sistemas de produção organizados em células. Desta forma, os benefícios obtidos podem compensar estas desvantagens. Assim, por exemplo, a redução dos trabalhos em curso e dos tempos de produção pode compensar o investimento em novos equipamentos.

As vantagens e desvantagens das células aqui enumeradas, algumas apresentadas ao longo da secção 3.4., associam-se mais a umas células operacionais do que a outras. Isto acontece porque cada célula operacional possui características próprias que devem ser tomadas em consideração no projecto de SPOP. Cada célula deve ser vista como uma parte a ser integrada num todo: o SPOP, podendo as desvantagens de uma célula desvanecer no todo. Cada célula deve ser avaliada nesta perspectiva e obedecer aos requisitos operatórios do produto específico que aí vai ser fabricado ou montado e aos requisitos do produto final. Se estes requisitos envolvem, por exemplo, polivalência e mobilidade dos operadores dentro da célula, as células JIT são mais adequadas, do que, por exemplo, as células virtuais.

### **3.7. APLICAÇÃO DE CÉLULAS DE PRODUÇÃO**

Os estudos realizados por Wemmerlöv e Hyer (1989), Fix-Sterz et al. (1990), Slomp et al. (1993), Harvey (1994), Olorunniwo (1997), Marsh et al. (1997, 1999), Wemmerlöv e Johnson (1997, 2000), Olorunniwo e Udo (2002) e Johnson e Wemmerlöv (2004) sobre a aplicação das células têm sido maioritariamente em empresas da indústria metalomecânica, devido à organização em sistemas funcionais tradicionalmente adoptada por esta indústria, secção 2.4.1.. O ambiente neste tipo de indústria parece ser, assim, um ambiente favorável à implementação das células pois sendo um ambiente complexo pode através destas encontrar alguma simplicidade. Talvez devido a esta

complexidade tem-se dado mais atenção à implementação de células neste ambiente do que noutra qualquer.

No entanto, nos estudos referidos também podem encontrar-se referências a empresas de outros tipos de indústria como empresas de mobiliário de escritório (Wemmerlöv e Johnson, 1997), empresas de calçado, de injeção de moldes, de componentes electrónicos e de produtos clínicos (Marsh et al., 1999), empresas de automóveis, empresas de electrónica e de injeção de moldes (Olorunniwo e Udo, 2002).

Alguns estudos de caso abordam a implementação de células em empresas diversas como empresas de componentes em ferrite para a indústria electrónica (Levasseur et al., 1995), empresas de mobiliário (Kumar e Motwani, 1998), empresas de joalheria (Süer, 1998), empresas de produção de janelas em madeira (Sohal et al., 2001), empresas de componentes para automóveis (Dawson, 2001, 2005 e Gunasekaran et al., 2001), empresas de montagem de televisores, computadores, gravadores de vídeos e câmaras de vídeo (Park e Han, 2002), empresas de montagem de sistemas de distribuição, protecção e conversão de electricidade (Molleman et al., 2002) e, ainda, empresas de moldagem de vidro (Durmusoglu e Nomak, 2005).

Na indústria de vestuário também é comum aplicarem-se células operacionais JIT como o TSS (Reece Corporation, 1990 e Kalta et al., 1998), o MMS (Schonberger, 1996), o UPS (Chen, 1998), o QR (Hunter, 1990 e Lawson, 1998) e ainda os grupos semi-autónomos (Aspinall, 2000) ou equipas (Ko et al., 2000, Dillard et al., 2000), secção 3.5.6., ou combinação de alguns destes (Lin et al., 1994) com os chamados arranjos tradicionais como linhas com lote progressivo, com mesa ou tapete rolante, com rampas ou com interfluxo (Araújo, 1996).

Na pesquisa informal junto de algumas empresas realizada pela autora e baseada em bibliografia sobre a implementação e uso de células nas empresas portuguesas verifica-se que os casos de aplicação são ainda reduzidos e os estudos realizados são muito poucos e gerais. Nestes estudos o sistema de produção não é, geralmente, objecto central do estudo. Por exemplo, em 1992, Kovács et al. (1992, citado em Kovács, 1998) realizaram um estudo sobre a mudança tecnológica e organizacional do trabalho onde as células de produção e as equipas semiautónomas aparecem como novas formas de organização do trabalho. Este estudo revelou que apenas 31% das empresas, não

distinguindo sectores, declararam possuir este tipo de sistema. No entanto 7% das empresas tinham-no em projecto.

Desde então têm surgido outros estudos, pontuais, sobre a implementação das equipas de trabalho (Urze, 1996) e dos grupos de trabalho semi-autónomos (Sousa, 1999) na indústria portuguesa de vestuário como uma estratégia para fazer face aos desafios do mercado internacional. Embora o estudo de Valente et al. (2000) não tivesse como foco o sistema de produção implementado, mostrou que a experiência com as células e a constituição dos grupos semi-autónomos são vias possíveis para responder às pressões do mercado e que, pelo menos, três das empresas estudadas tinham implementado aquelas formas.

Outros trabalhos, liderados pela Universidade do Minho no âmbito de projectos de licenciatura e tendo a participação da autora em alguns, resultaram na implementação de células de produção em indústrias diversas. Tais trabalhos são os trabalhos de Reis (1994), Aguiar (1994), Sousa (1995), Guimarães (1999), Freitas (2000), Pereira (2000), Gomes (2001), Braga (2004) e Malheiro (2003).

Estes trabalhos mostram que as células parecem sistemas adequados à indústria do vestuário, e no sentido de investigar um pouco melhor a sua aplicação nas empresas de vestuário do Norte de Portugal (que é um sector muito importante nesta região) foi elaborado um questionário (Apêndice A) e enviado por correio electrónico a algumas empresas desta indústria. As empresas seleccionadas resultaram de uma pesquisa na Internet com os termos “têxtil”, “confecção” e do site Portugal Têxtil (<http://www.portugaltexil.com>).

Os objectivos do questionário foram procurar saber até que ponto as empresas conheciam os termos relacionados com células, o sistema que tinham implementado e os aspectos operatórios de tais sistemas e as dificuldades (ou não) sentidas durante a implementação do sistema. Este objectivos foram explanados numa carta de apresentação como recomendado em Saunders et al. (2000).

Foram seleccionadas 50 empresas com endereços electrónicos válidos a quem foram enviados o questionário. Depois do seguimento foram obtidas por correio electrónico e fax sete respostas válidas. Isto é muito pouco para fazer uma análise estatística válida mas constatou-se, no entanto, que todas as respostas assinaladas era de terem implementado células de produção.

Sobre as dificuldades que as empresas teriam sentido durante a implementação do sistema, quase todas tinham reorganizado o sistema ou iam reorganizar o sistema recorrendo a empresas de consultoria mas gostariam de ter um sistema que apoiasse a reorganização.

O número reduzido de respostas não permite tirar conclusões significativas mas é interessante notar que quase todas estavam ou estiveram envolvidas num processo de reorganização do sistema de produção o que justifica a necessidade de ter um procedimento sistemático ou metodologia para ajudar neste processo. Também foi possível constatar não ser do conhecimento das empresas a existência de metodologias para o efeito.



## 4. METODOLOGIAS DE PROJECTO DE SISTEMAS

Existem várias abordagens ao projecto que definem este acto de forma mais ou menos formal. Por exemplo, a abordagem de Suh (1990), conhecida como Teoria Axiomática de Projecto define projecto com base em conceitos próprios e definições formais. Assim, de acordo com Suh:

*“Design may be formally defined as the creation of synthesized solutions in the form of products, processes or systems that satisfy perceived needs through the mapping between the Functional Requirements (FR) in the functional domain and the Design Parameters (DP) of the physical domain, through the proper selection of DPs that satisfy FRs”* (Suh, 1990)

Além da Teoria Axiomática de Projecto pode-se ainda citar outras abordagens de aplicação genérica, tais como a *Extended General Design Theory* de Tomiyama e Yoshikawa (1987), a *Robust Design* de Taguchi (Hu et al., 2000), a *Theory of Inventive Problem Solving* (TIPS)<sup>13</sup> de Altshuller (1988), a *Workshop Design Konstruktion school* (WDK) de Hubka e Eder (1992) e *Total Quality Development* (TQD)<sup>14</sup> de Clausing (1994).

Estas três últimas assim como a Teoria Axiomática estão sintetizadas e comparadas em Tate e Nordlund (1995) onde são apresentadas as diferentes motivações dos seus autores, respectivamente, tornar a criatividade um processo controlado- TIPS, promover a actividade de projectar mais eficiente pela redução ou eliminação de desperdício de trabalho, tempo e materiais – WDK, melhorar o desempenho industrial - TQD, e educar os projectistas a aprender como tomar melhores decisões de projecto – Teoria Axiomática.

Estas abordagens, umas vezes designadas de teorias outras de metodologias, satisfazem um requisito principal das metodologias apontado por Wu (1994), nomeadamente, o de guiar o projectista, reduzindo a complexidade e o esforço do projecto. No essencial descrevem um processo geral e estruturado de projecto numa sequência de passos através dos quais as soluções para satisfazerem um conjunto de objectivos de projecto ou especificações funcionais são sucessivamente concebidas ou seleccionadas, tendo em

---

<sup>13</sup> o acrónimo em russo é TRIZ

<sup>14</sup> inclui a Quality Function Deployment



conta restrições diversas, tipicamente de ordem tecnológica, organizacional e económica.

Uma metodologia de projecto deve também indicar e dentro do possível disponibilizar ou facilitar o acesso, em cada fase de projecto, a dados e métodos ou ferramentas que permitam ao projectista de forma eficaz e eficiente chegar a boas soluções de projecto.

Simcsik (1993) considera que uma metodologia não procura soluções mas estuda a melhor maneira de abordar determinados problemas procurando desta forma indicar os caminhos para chegar a soluções. Segundo este autor uma metodologia auxilia e orienta no processo de investigação e levantamento de dados/informações para tomar as decisões mais oportunas e melhores para um determinado momento de espaço e tempo.

Portanto, as metodologias podem estruturar-se de diferentes maneiras, seguirem diferentes direcções, diferirem nas técnicas recomendadas ou nas orientações em cada fase e, particularmente, enfatizarem aspectos ou questões a resolver. Algumas enfatizam mais os aspectos humanos enquanto que outras tentam automatizar o mais possível o processo de desenvolvimento do projecto.

Críticas normalmente apontadas a algumas metodologias referem-se à sua limitada eficácia e eficiência no projecto. Aparentemente isto deve-se às muitas actividades e tarefas que é necessário realizar, à complexidade inerente devido, por vezes, à tentativa de serem abrangentes, à requisição de competências para utilizar a metodologia, à inflexibilidade não permitindo mudanças e ao emprego de ferramentas difíceis de utilizar (Avison, 1995).

A índole genérica de algumas metodologias, como as acima referidas ou listadas, é ao mesmo tempo a sua grande vantagem e grande fraqueza. Esta fraqueza resulta da sua incapacidade, face à sua generalidade, de facilmente permitir chegar a soluções boas de problemas específicos de projecto, como, por exemplo, o projecto de sistemas de produção. A vantagem de uma metodologia genérica está na sua capacidade de funcionar como metametodologias em que se podem apoiar metodologias mais específicas. É exemplo desta estratégia de desenvolvimento de metodologias menos genéricas, ou mais específicas, a metodologia de projecto de sistemas de produção MSDD<sup>15</sup>, desenvolvida por Cochran e colaboradores (Carrus e Cochran, 1998; Cochran et al., 2000, 2001; Cochran e Dobbs, 2001/2002 e Cochran et al., 2001/2002), a

---

<sup>15</sup> Manufacturing System Design Decomposition

metodologia de Babic (1999) e a metodologia de Kulak et al. (2005), que tem por base a Teoria Axiomática de Projecto de Suh atrás referida.

Outros exemplos de metodologias de projecto de sistemas de produção são a metodologia de Rao e Gu (1997) e a metodologia REALMS<sup>16</sup> (Doumeingts et al., 1999).

A orientação duma metodologia para o projecto numa área específica torna-a mais útil, ajudando de forma mais fácil, eficaz, eficiente e célere a chegar a soluções viáveis de problemas de projecto por se dirigirem ou se focarem nos aspectos essenciais e relevantes dessa área.

Metodologias para o projecto ou reengenharia de sistemas de produção, que permitam chegar a boas soluções, são de todo recomendáveis e necessárias já que a qualidade e o desempenho de um sistema de produção são largamente determinadas na fase de projecto face à escolha da solução a adoptar, i.e. das configurações física e operacional escolhidas para o sistema produtivo. De facto, é no projecto que se promete e compromete o melhor desempenho do sistema durante o seu funcionamento. É por isso que tal projecto deve ser realizado de uma forma cuidada, racional e estruturada, de maneira a evitar erros e esquecimento de detalhes importantes.

A especialização de uma metodologia em áreas de projecto é recomendável por facilitar o projecto nessa área e atender de forma explícita a alternativas normalmente não equacionadas por metodologias mais gerais e somente percebidas por especialistas experientes. Estes, provavelmente, face à sua experiência e perícia poderão mesmo, em muitos casos dispensar o uso de qualquer metodologia genérica formal existente e avançar para o projecto de forma informal.

Pode dizer-se que a generalidade da metodologia torna-a pouco útil por fechar o acesso ao projecto em áreas especializadas a não especialistas. Ora, se a metodologia for específica, disponibilizando ou facilitando o acesso, em cada fase de projecto, a dados, métodos, ferramentas, e mesmo sugerindo alternativas de projecto em cada fase, permite a projectistas, mesmo não especialistas, chegarem rapidamente a soluções de projecto de qualidade.

---

<sup>16</sup> Re-engineering Application Integrating Modeling and Simulation, esta metodologia foi desenvolvida no âmbito do projecto REALMS financiado pela Comissão Europeia inserido no quadro do programa ESPRIT IV. O objectivo desta metodologia é promover uma abordagem holística que suporta o processo de reengenharia de sistemas de produção

Sendo foco deste trabalho o projecto de sistemas de produção orientados ao produto (SPOP), é importante que este projecto seja apoiado numa metodologia ou procedimento sistemático que equacione os elementos relevantes, isto é, os dados, as ferramentas e os métodos necessários e as opções ou alternativas adequadas, com vista à escolha e implementação de uma solução de um sistema de produção adequado a uma dada situação de procura e mercado.

A disponibilização destas alternativas ao projectista para permitir a selecção da mais adequada deve fazer parte integrante da metodologia e metodologias que não ofereçam tais alternativas são metodologias demasiado restritas ou focadas numa configuração operacional particular e, portanto, também pode comprometer o desempenho do sistema ou aquilo que se espera dele. Na secção seguinte descrevem-se algumas metodologias que se consideram ser deste tipo, i.e. metodologias focadas.

#### **4.1. METODOLOGIAS DE PROJECTO DE CONFIGURAÇÕES DE SPOP**

O problema do projecto de SPOP e dos seus elementos, por exemplo, células, tem sido abordado de forma parcial, i.e. sem haver uma abordagem holística do sistema, há algumas décadas a esta parte. É de referir o trabalho seminal de Mitrofanov em 1959. Pode-se ainda citar trabalhos úteis ao projecto de SPOP, desenvolvidos por vários autores ao longo das últimas três décadas. Merecem especial referência pela sua importância e relevância as metodologias: a metodologia PFA - *Production Flow Analysis* (PFA) (Burbidge, 1989), a metodologia TPS para implementar o *Toyota Production System* (TPS) (Monden, 1983), a metodologia de Black para implementar o *Integrated Manufacturing Production System* (IMPS) (Black, 1991). Adicionalmente, e talvez menos conhecidas ou mais recentes, tem-se a metodologia de Ingersoll Engineers (Nyman, 1992), a metodologia de Massay (Massay et al., 1995), a metodologia de Suri para implementar o *Quick Response Manufacturing* (QRM) (Suri, 1998), a metodologia de Silveira (Silveira, 1999), a metodologia de Babic (Babic, 1999), a abordagem de Ratchev (Ratchev, 2001) e a metodologia de Kulak (Kulak et al., 2005).

No sentido de simplificar a escrita, referenciam-se estes trabalhos como metodologias de projecto de SPOP, apesar de em alguns casos não ser rigoroso classificá-los como tal, sendo mais apropriado enquadrá-las noutras classes tais como métodos e técnicas, procedimentos ou abordagens.

As metodologias referidas têm diferentes utilidades, graus de abrangência variáveis e mecanismos de apoio ao projecto do sistema de produção também diferenciados. Algumas conduzem uma empresa na reengenharia do sistema existente tendo maior aplicabilidade numa empresa já com um sistema de produção instalado como são os casos das metodologias: PFA, TPS, de Black, de Suri e de Kulak, cujos princípios metodológicos vão no sentido de melhorar um sistema existente. Outras metodologias, podendo ser aplicáveis a sistemas existentes, aplicam-se na concepção ou construção de sistemas novos. Pode incluir-se aqui as metodologias de Ingersoll Enginners, de Massay, de Silveira e de Ratchev. Dada esta ênfase parece fazer sentido classificá-las em dois grandes grupos: as primeiras designadas de metodologias de melhoramento e as segundas de metodologias de construção.

As metodologias ainda se podem diferenciar de acordo com a indústria ou indústrias a que se dirigem. Assim, as metodologias PFA, de Ingersoll Enginners e de Ratchev dirigem-se fundamentalmente ao sector da metalomecânica, apesar dos autores sugerirem a possibilidade da sua aplicação a outras indústrias. As metodologias TPS, de Black, de Massay, de Suri e de Silveira sendo mais gerais, podem ser aplicadas a outras indústrias.

#### **4.1.1. Metodologias de melhoramento**

Nesta secção faz-se uma descrição sucinta das seguintes metodologias de melhoramento: PFA, TPS, de Black, de Suri e de Kulak.

##### ***4.1.1.1. Metodologia PFA***

A metodologia PFA desenvolvida por Burbidge em 1963 e publicada em 1989 (Burbidge, 1989) é uma metodologia para a implementação da Tecnologia de Grupo numa empresa, secção 2.4.. Segundo Burbidge, até à data do desenvolvimento do PFA, a Tecnologia de Grupo baseava-se na codificação e classificação dos desenhos dos componentes juntando peças, com forma ou funções similares, na mesma família. Isto não consistia num bom método de encontrar as famílias, pois podia juntar peças em famílias de diferentes materiais e de diferentes dimensões, nem de formar as células pois não ajudava a encontrar os grupos de máquinas para processar as famílias.

O PFA é proposto e associado a métodos novos para formar famílias de artigos. Assim identifica, através da análise da informação contida nos roteiros de fabricação de cada

peça a fabricar, as famílias de artigos e os grupos de máquinas. Os roteiros de fabricação listam as operações necessárias para fabricar cada peça e as máquinas ou outros centros de trabalho onde cada operação é realizada. Além de métodos próprios, o PFA tem subjacente vários procedimentos usados para planear a mudança de uma organização por processo para uma organização por produto e implantação por processo ou função para uma implantação formada por células de TG. Inclui, assim cinco procedimentos usados sequencialmente para simplificar o fluxo de materiais numa empresa, cada um dos quais com um objectivo específico:

*Company Flow Analysis*, CFA – para simplificar o fluxo entre fábricas ou divisões;

*Factory Flow Analysis*, FFA – para simplificar o fluxo dentro dos departamentos;

*Group Analysis*, GA – para planear a divisão ou reorganização dos departamentos em células de TG;

*Line Analysis*, LA – para simplificar o fluxo de materiais dentro de cada célula;

*Tooling Analysis*, TA – para simplificar e reduzir a frequência dos processos de preparação das máquinas.

Na altura do desenvolvimento de PFA, os métodos utilizados em cada uma das fases eram de aplicação manual mas entretanto assistiu-se a uma proliferação de métodos adequados para computador desenvolvidos por autores preocupados com a complexidade e dimensão do problema, principalmente na fase de *Group Analysis*, destacando-se como primeiros trabalhos os de, nomeadamente, McAuley (1972), King (1980) e Chan e Milner (1982).

O PFA tem sido aplicado a muitos exemplos de reconversão de sistemas funcionais em sistemas organizados em células, principalmente na indústria metalomecânica de produção por lotes.

#### **4.1.1.2. Metodologia TPS**

O procedimento descrito em Monden (1983) aqui designado de metodologia TPS tem inerentes princípios metodológicos que configuram este procedimento como uma metodologia cujo objectivo é a concepção e implementação do *Toyota Production System* (TPS) também já referido nas secções 2.2.4. e 3.4.1. A concretização de quatro requisitos essenciais para aplicação do TPS que são a produção *just in time* (JIT), o

“*autonomation*”, a força de trabalho flexível e a criatividade requer a implementação sequencial:

1. do sistema Kanban para alcançar a a produção JIT
2. da produção misturada balanceada
3. da minimização de tempos de preparação para reduzir o tempo de entrega
4. da normalização de operações para poder nivelar a produção e balancear o sistema
5. da implantação do sistema de acordo com o fluxo de produção, i.e. de trabalho e materiais, predominante
6. da utilização de trabalhadores polivalentes para conseguir e facilitar o processo de balanceamento do sistema
7. da motivação e envolvimento pessoal na melhoria dos processos
8. da implementação de controlo visual para conseguir a inspecção rápida
9. da implementação de sistemas de comunicação entre os departamentos para promover sistemas de controlo de qualidade total,...

O nivelamento do fluxo de produção no extremo traduz-se no fluxo unitário sincronizado (peça a peça) dentro de cada célula equacionado através dos pontos 4 e 5 e largamente tratado no trabalho de Sekine (1990). O *one-piece flow*, ou fluxo unitário, é indispensável no TPS e é um dos princípios fundamentais do *Toyota Sewing System* (TSS) já descrito na secção 3.4.1.1..

#### **4.1.1.3. Metodologia de Black**

A metodologia de Black procura implementar o *Integrated Manufacturing Production System* (IMPS) já referido na secção 2.3. IMPS é a designação usada pelo autor para sistemas de produção que tenham subjacente a produção JIT. Por este facto, tem similaridades grandes com a metodologia TPS, descrita por Monden.

O *Linked-Cell Manufacturing System* (LCMS) descrito na secção 3.4.1.6. é a configuração operacional projectada pela metodologia de Black. Esta metodologia desenvolvida para converter uma fábrica existente numa “fábrica com futuro” tem dez passos realizados sequencialmente que são os seguintes:

1. formar células de fabrico e de montagem
2. reduzir ou eliminar a preparação
3. integrar controlo de qualidade
4. integrar manutenção preventiva
5. constituir fluxo produtivo uniformizado para a montagem final
6. ligar células (Kanban)
7. reduzir trabalho em curso de fabrico
8. estender IMPS aos fornecedores
9. automatizar e robotizar
10. informatizar

No essencial, a aplicação desta metodologia conduz à implementação da filosofia JIT que não sendo fácil de implementar, parece simples e atractiva perante a metodologia de Black. Esta é também uma metodologia aplicável a sistemas existentes que requer mudança e tem impacto em todos os serviços principais e auxiliares da produção, comerciais, da contabilidade à expedição.

#### **4.1.1.4. Metodologia de Suri**

Suri apresenta também uma metodologia que tem o objectivo de implementar o *Quick Response Manufacturing* (QRM) referido na secção 2.3. e descrito na secção 3.4.2.. A metodologia para implementar este conceito produtivo inclui quinze passos apresentados aqui muito resumidamente.

Os dois primeiros focam a necessidade de envolvimento dos gestores e de afectação de responsabilidades e gestão do projecto QRM. O terceiro passo consiste na escolha de bens ou serviços sujeitos ao QRM. Normalmente, são aqueles com um tempo de entrega considerado exagerado. Ao mesmo tempo são estabelecidos os objectivos a alcançar pela equipa de projecto QRM que é formada nos passos quarto e quinto com atribuição de responsabilidades a cada membro da equipa. No sexto passo é realizada uma análise ao sistema existente, medindo grosseiramente o seu desempenho. No sétimo passo são definidos com mais precisão os objectivos a obter e as actividades a desempenhar no projecto.

No oitavo passo procede-se a uma recolha e análise de dados mais detalhada. O nono passo é o passo onde se procuram as soluções para os problemas, isto é, para a redução dos tempos de entrega, sendo estas apresentadas juntamente com as recomendações aos gestores e directores da empresa consistindo este no décimo passo.

Os passos restantes relacionam-se com a formação da equipa de implementação (passo 11), e de formação técnica e responsabilização desta equipa, uma vez que esta pode ficar a trabalhar na célula formada (passo 12). A implementação das células QRM e a avaliação e medição de resultados consistem nos passos 13 e 14, respectivamente. O último passo (passo 15) consiste em repetir o processo para outros projectos.

A implementação de QRM passa pela reorganização dos sistemas de produção, pela política de compras, planeamento de capacidades, pela política de tamanho de lotes,

entre outros. Isto significa que é também uma metodologia aplicável a empresas existentes.

#### **4.1.1.5. Metodologia de Kulak**

A metodologia de Kulak baseia-se nos princípios da Teoria Axiomática de Suh (1990) e projecta células de produção. O processo de projecto envolve 4 passos e um mecanismo de realimentação para melhoria contínua, i.e. para avaliar e melhorar o projecto através do desempenho de critérios pré-seleccionados. O processo inicia-se com a fase preliminar de selecção de equipa e análise do processo de transformação. No segundo passo fazem o projecto das células baseando-se nos princípios da Teoria seguindo-se a implementação. Finalmente procedem à avaliação do desempenho da solução gerada contrapondo-a a objectivos pré-seleccionados. Se a solução obtida não corresponder às expectativas tentam melhorar a solução.

#### **4.1.2. Metodologias de construção**

Nesta secção apresentam-se sumariamente as metodologias designadas de metodologias de construção: a de *Ingersoll Engineers*, a de Massay, a de Babic, a de Silveira e a de Ratchev baseada em “*resource elements*”.

##### **4.1.2.1. Metodologia de Ingersoll Engineers**

A metodologia de *Ingersoll Engineers* orienta a empresa na implementação de células de fabricação flexível (FMC)<sup>17</sup>, descritas na secção 3.4.3.. Esta consiste essencialmente em cinco fases distintas (Nyman, 1992).

Na primeira fase é equacionado o posicionamento estratégico da empresa, para avaliar de que forma os FMC poderão influenciar a estratégia de negócio. Se a influência esperada for positiva com base nos objectivos a alcançar faz-se o desenvolvimento da configuração conceptual do FMC. Tal desenvolvimento assenta na análise técnica e económica de configurações possíveis. Esta segunda fase trata ainda da forma como apresentar e convencer a gestão a adoptar os FMC e a envolvê-los no processo.

Na terceira fase são abordadas as considerações especiais do desenvolvimento das células, isto é, a aplicação de tecnologia, a aplicação de sistemas de manuseamento e armazenagem e a utilização de robots industriais e são discutidos o nível de qualidade e

---

<sup>17</sup> Flexible Manufacturing Cell



os sistemas de controlo das máquinas, das células e da produção. A quarta fase desta metodologia trata do planeamento detalhado, da implementação das células e da medição dos resultados.

A quinta e última fase trata da integração em sistemas CIM<sup>18</sup>. Esta é também uma metodologia que abrange e envolve todos os sectores da empresa mas que pode aplicar-se na concepção de novos sistemas, existindo um planeamento cuidado e demorado, e deve ser assim pois só desta forma as células podem ter sucesso (Nyman, 1992).

#### ***4.1.2.2. Metodologia de Massay***

A metodologia de Massay utiliza uma abordagem de concepção holística de sistemas que facilita a avaliação do sistema total a ser desenvolvido. A abordagem usa ferramentas e técnicas disponíveis e pode, segundo o seu autor, ser facilmente adoptada por projectistas de sistemas de produção. Incorpora ainda três estudos de caso que são usados para avaliar a metodologia proposta. A metodologia é aconselhável no projecto de novos sistemas ou na melhoria dos existentes. Esta metodologia divide-se em quatro fases: análise, projecto conceptual, projecto integrado e projecto detalhado. Estas fases são realizadas sequencialmente existindo realimentação entre fases consecutivas.

Na fase de análise são recolhidos e tratados os dados de peças a fabricar para identificar famílias de peças. As famílias identificadas, as quantidades de produção, os planos de processo e os programas de produção definem as capacidades requeridas e as capacidades para a célula e fornecem as entradas, tal como os equipamentos necessários, para a fase seguinte do projecto conceptual. Na fase do projecto conceptual é definida uma arquitectura do sistema através das operações e sequências das operações representadas num gráfico de fluxo. Este sistema conceptual é dividido em células e as células são integradas e ajustadas num sistema de produção celular.

A fase do projecto integrado é ainda subdividida em cinco fases cujo objectivo é a configuração da célula e a configuração do sistema do qual fazem parte as células. No final desta fase são avaliadas as alternativas das configurações do sistema constituído pelas células através de critérios de desempenho. A melhor é seleccionada e entra na fase do projecto detalhado. O objectivo da fase do projecto detalhado é finalizar todas as especificações e detalhes dimensionais da alternativa seleccionada. As saídas desta fase

---

<sup>18</sup> Computer Integrated Manufacturing

são a documentação de projecto consistindo em desenhos de projecto detalhados e especificações.

#### **4.1.2.3. Metodologia de Babic**

Tal como a metodologia de Ingersoll Engineers descrita atrás, este autor propõe uma metodologia para implementar sistemas de fabricação flexível (SFF), secção 3.4.3.. Este baseia-se na Teoria Axiomática de Suh, dividindo em 4 fases o processo de projecto: 1) especificação de operações a serem processadas no sistema, 2) definição dos requisitos funcionais, 3) projecto do SFF e, finalmente, 4) análise do desempenho utilizando a simulação.

#### **4.1.2.4. Metodologia de Silveira**

Silveira (1999) apresenta uma metodologia para implementar células de produção. Esta metodologia tem três fases: a fase de preparação que compreende a análise e preparação do sistema para a nova implantação, a fase da definição da nova implantação e fase de instalação física da nova implantação e dos sistemas de gestão.

Na primeira fase recolhe-se dados, forma-se a equipa responsável pela mudança, define-se objectivos do projecto, escolhe-se a área piloto para implementar as células e implementa-se técnicas de suporte como técnicas de redução dos tempos de preparação. Na segunda fase escolhem-se métodos para a formação de células, recolhe-se dados para a aplicação dos métodos, formam-se as células, define-se a sua capacidade e projecta-se a sua implantação. Na fase de instalação procede-se ao planeamento de introdução das células, faz-se a reafectação de pessoas e máquinas e faz-se a gestão e análise do desempenho das células.

#### **4.1.2.5. Metodologia de Ratchev**

Ratchev (2001) propôs uma metodologia, algo diferente das anteriores porque recorre ao conceito de recursos elementares (REs) (Gindy e Ratchev, 1997, e Baykasoglu et al., 2001) para a criação de células virtuais (CVs) num ambiente de maquinagem. Baseando-se nas capacidades de processamento das máquinas, deriva um conjunto de células de maquinagem virtuais e suas correspondentes famílias de peças com base nos planos de processo para cada peça, expressos em REs. Compreende os seguintes passos: 1) análise dos requisitos de cada componente, com a respectiva selecção dos processos

de transformação; 2) definição das capacidades das máquinas na base de REs; 3) afectação das máquinas aos componentes definindo células virtuais; e 4) validação das células virtuais definidas.

A partição óptima do *mix* de componentes em famílias com os seus requisitos de processamento definindo a fronteira das células virtuais pode ser conseguido utilizando um algoritmo de agrupamento. Esta dedicação a uma determinada família de componentes faz-se apenas durante um determinado período de tempo.

Depois de definir as fronteiras das células virtuais, representadas por conjuntos de REs, é necessário traduzir estes em máquinas existentes. A transformação é baseada na substituição iterativa dos REs em correspondentes máquinas às quais eles pertencem. Cada máquina é avaliada em termos do número de REs que tem em comum com as capacidades requeridas de cada célula. As máquinas são escolhidas levando em consideração vários critérios, tais como, minimizar a variedade de máquinas dentro da célula, minimizar o transporte intra e intercelular, maximizar a sua utilização e maximizar o número de operações distintas por máquina. O procedimento de afectação de máquinas estará completo quando todos os REs forem substituídos por máquinas. A preferência na escolha das máquinas é dada àquelas que reúnem o maior número de REs pedidos pela célula. A afectação de máquinas é orientada por indicadores de desempenho especificados pela empresa, tais como, a redução nos tempos de produção, a minimização dos stocks, a minimização dos custos de transporte, entre outros.

Em cada passo iterativo, as células são avaliadas pela solidez e pelo desempenho esperado. Na fase de avaliação os agentes de decisão têm a opção de mudar os critérios de optimização para seleccionarem os processos alternativos ou modificarem os factores chave na selecção das máquinas, permitindo assim diferentes cenários consoante a redefinição de parâmetros escolhida pelo utilizador, sempre com o objectivo de encontrar a melhor solução. As variáveis são definidas tendo em consideração a produção pretendida, por exemplo, minimizar o tempo de produção implica uma concentração elevada de operações, num número reduzido de máquinas flexíveis ou multifuncionais.

## 4.2. CONSIDERAÇÕES ADICIONAIS E SÍNTESE

As metodologias revistas neste capítulo são metodologias de projecto que orientam na procura de soluções, sejam elas produtos, processos, ferramentas, máquinas ou sistemas. No caso das metodologias genéricas, o projecto pode ter como solução um sistema de produção não sendo assim direccionada por este propósito. Já as metodologias específicas para o projecto de sistemas de produção têm subjacente esta solução, tornando-se, por isso, preferíveis. Além destas, tem-se ainda aquelas que sendo focadas numa configuração particular de sistemas de produção podem restringir a escolha de alternativas mais adequadas. Tais metodologias orientam-se ao projecto de configurações designadas neste trabalho por configurações operacionais de SPOP. A Tabela 6 apresenta o resumo das metodologias mostrando as possíveis soluções de cada metodologia.

**Tabela 6. Resumo das metodologias de projecto apresentadas**

Metodologia	Exemplos	Soluções
Genérica	<ul style="list-style-type: none"> <li>– <i>Extended General Design Theory</i></li> <li>– <i>Robust Design</i></li> <li>– TIPS</li> <li>– WDK</li> <li>– Axiomatic Design Theory</li> <li>– TQD</li> <li>– ...</li> </ul>	Produto Processo Ferramenta Máquina Sistema de produção Sistema de informação ...
Específica para sistema de produção	<ul style="list-style-type: none"> <li>– <i>Metodologia de Rao e Gu (1997)</i></li> <li>– <i>REALMS</i></li> <li>– <i>MSDD</i></li> <li>– ...</li> </ul>	1 Sistema de produção
Focada numa configuração operacional de sistema de produção orientado ao produto	<ul style="list-style-type: none"> <li>– PFA</li> <li>– TPS</li> <li>– Black</li> <li>– Ingersoll Engineers</li> <li>– Massay</li> <li>– Suri</li> <li>– Babic</li> <li>– Silveira</li> <li>– Ratchev</li> <li>– Kulak</li> <li>– ...</li> </ul>	1 configuração operacional de SPOP

A metodologia proposta neste trabalho enquadra-se a meia distância entre as metodologias específicas e as metodologias focadas. No entanto, a metodologia proposta é mais orientada que uma metodologia específica pois após selecção do SPOP apenas equaciona o processo de projecto deste e das suas possíveis configurações conceptuais e operacionais. Desta forma, a metodologia proposta equaciona apenas

aspectos relevantes para o projecto de sistemas de produção orientados ao produto não restringindo, no entanto, as possíveis alternativas de configurações do SPOP.

Algumas das metodologias apresentadas, nomeadamente, a de Ingersoll Engineers e a de Suri, incluem alguns passos relacionados com a implementação da metodologia e a formação da equipa responsável por esta implementação. Embora não descurando a importância destes passos, eles não são incluídos na metodologia proposta porque não é objectivo deste trabalho implementar a metodologia numa empresa mas implementá-la num protótipo de um sistema de apoio ao projecto ou, pelo menos, especificar os seus componentes. É claro que, terminado o protótipo, a implementação deste numa ou mais empresas vai tornar-se necessária mas é numa fase futura que vai além deste trabalho.

## **5. METODOLOGIA GCD PARA O PROJECTO DE SPOP**

Neste capítulo apresenta-se uma metodologia para projecto e reconfiguração de Sistemas de Produção Orientados ao Produto (SPOP), definido na secção 3.1., designada de metodologia GCD por estruturar o projecto e a reconfiguração de SPOP em três fases fundamentais, referidas como Projecto Genérico, Projecto Conceptual e Projecto Detalhado.

O projecto ou reconfiguração de sistemas de produção é um processo de formação complexo que deve envolver diferentes níveis hierárquicos de análise, nomeadamente, o estratégico, o tático e o operacional. As necessidades de produção, o ciclo de vida a qualidade dos produtos e as características dos factores de produção, que incluem as pessoas, resultam em diferentes cenários de produção que tornam umas configurações mais adequadas que outras. Assim para chegar rapidamente a configurações de sistemas de produção e, no caso em estudo, de SPOP, uma metodologia facilitadora e orientadora deste processo é, por certo, um instrumento indispensável.

A metodologia GCD foi desenvolvida por se ter constatado não existir nenhuma outra metodologia que equacione de forma iterativa o processo de formação através dos três níveis hierárquicos referidos e capaz de apoiar o projecto e reconfiguração de sistemas de produção para facilmente adaptá-los a diferentes exigências de mercado, possibilitando a adopção de configurações de SPOP ajustadas às necessidades de mercado e produção.

Assim, das metodologias apresentadas no capítulo anterior, as metodologias PFA, TPS, de Massay, de Babic, de Silveira e de Kulak não equacionam de forma explícita e, em muitos casos, implícita, o nível estratégico de análise. Adicionalmente, todas as metodologias são focadas numa configuração operacional não possibilitando a selecção de alternativas de configurações mais adequadas.

No caso das metodologias PFA, de Massay, de Babic, de Silveira, de Kulak, de Ingersoll Engineers e de Ratchev o projecto das configurações operacionais é um projecto independente, logo também não são vocacionadas para o projecto de SPOP na aceção e abrangência apresentada neste trabalho, i.e. na procura da coordenação e sincronização das configurações de SPOP necessárias nas diferentes fases de produção. Neste aspecto apenas as metodologias TPS, de Black e de Suri assemelham-se à

metodologia GCD pois também procuram a integração do sistema TPS, IMPS e QRM, respectivamente, como um todo. No entanto, a sua focagem não é na orientação do produto como a metodologia GCD aqui proposta.

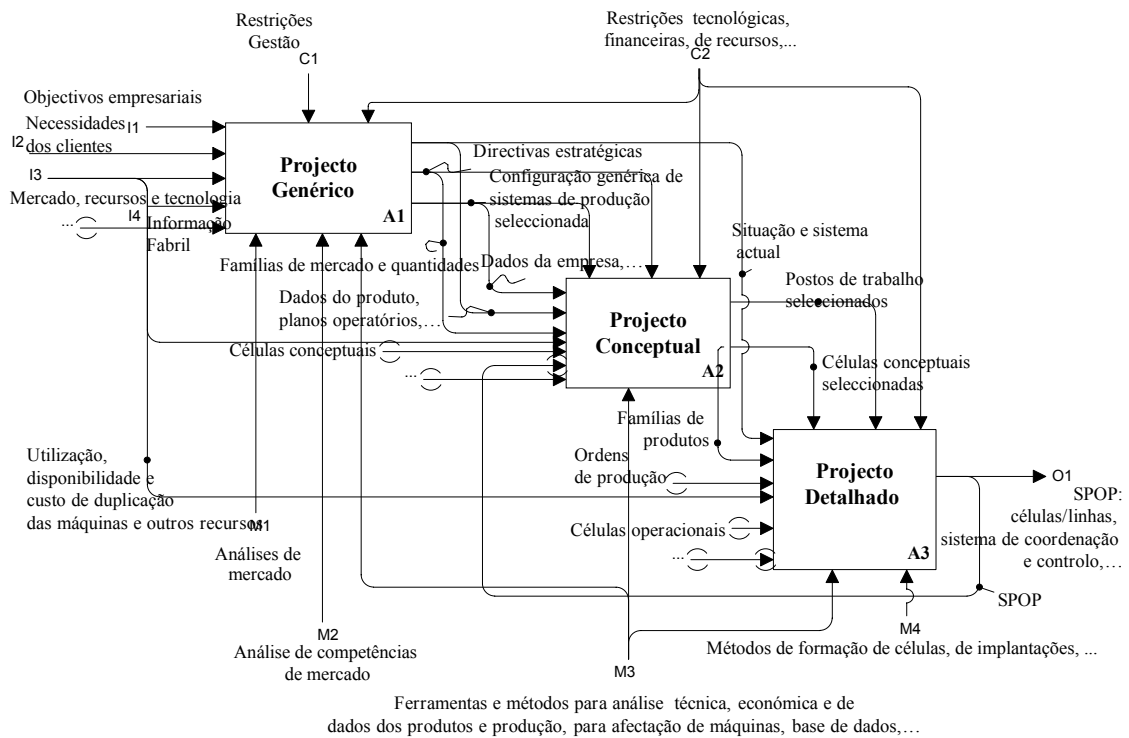
O primeiro contributo para a metodologia GCD foi dado em Alves (2000) que consistiu, principalmente, num trabalho seminal com resultados relatados em Silva e Alves (2002b) com vista ao desenvolvimento deste projecto de doutoramento.

A metodologia GCD é representada e ilustrada com base na ferramenta de modelação IDEF0 - *Integration Definiton for Function Modeling* (FIPSPUB183, 1993, e Colquhoun et al., 1993). Esta ferramenta é adequada à representação de metodologias hierárquicas começando pelo nível mais elevado e sucessivamente passando para níveis mais detalhados, permitindo a especificação de dados de entrada, restrições e mecanismos necessários para obter resultados, através dos diferentes níveis de detalhe e fases de projecto.

Através da utilização do IDEF0 foi possível delinear o processo de projecto de SPOP expresso nas suas fases, estabelecendo parâmetros de entrada e especificando as restrições e os mecanismos a utilizar e especificando os resultados a obter em cada fase, assim como o relacionamento entre fases. Em cada uma das fases são equacionadas configurações alternativas de SPOP, métodos e mecanismos de apoio à concepção rápida e dinâmica de sistemas de produção, tendo em conta os objectivos empresariais e, particularmente, os requisitos produtivos e organizacionais da empresa.

O processo de projecto inerente à metodologia GCD sistematicamente implementa as três fases hierárquicas, equacionando os aspectos e tarefas necessárias ao projecto de SPOP em cada fase e dirigindo o projectista para o acesso a elementos e ferramentas úteis. A resolução sucessiva e iterativa de cada fase permite em última análise chegar a uma configuração de SPOP adequada, eficiente e eficaz no alcance dos objectivos produtivos.

O diagrama da Figura 20 mostra a visão hierarquizada das três fases fundamentais para o projecto dos SPOP, delineadas pela metodologia: Projecto Genérico, Conceptual e Detalhado, assim como as suas principais entradas (I), restrições (C), mecanismos (M) e saídas (O). A descrição sucinta das três fases é a seguir realizada.



**Figura 20. Fases da metodologia GCD**

O Projecto Genérico, com base na estratégia de produção, identifica a configuração genérica do sistema de produção, avaliando a viabilidade de utilização de SPOP como forma de atingir objectivos estratégicos de produção. Estes, naturalmente, reflectem o posicionamento da empresa relativamente aos mercados, aos produtos e ao atendimento ao cliente traduzidos em respostas aos prazos de entrega, à variedade de produtos e ao grau de especialização da produção ou da sua orientação ao cliente ou ao produto. Dependendo deste grau de especialização ou orientação, pode-se imaginar sistemas muito versáteis e orientados para todos os produtos da empresa ou, no outro extremo, sistemas estritamente dedicados à fabricação de um produto que pode ser destinado a vários clientes ou apenas a um. Neste caso, o sistema continuando a ser orientado ao produto pode dizer-se ser orientado também ao cliente, ou de uma forma mais objectiva à ordem de encomenda do cliente, para um dado artigo. Naturalmente, que sistemas respondendo a situações intermédias entre estes dois extremos podem ser consideravelmente atractivos como soluções técnicas e económicas de sistemas de produção.

O objectivo do Projecto Conceptual é seleccionar as configurações conceptuais de células e de postos de trabalho necessários de SPOP, secção 3.3., que sejam mais adequados face às quantidades e necessidades de transformação dos produtos a produzir



no sistema. Para isso é realizada uma primeira aproximação à formação de famílias de produtos e a primeira abordagem de afectação de máquinas a operações. Identificadas as configurações conceptuais estima-se o número de operadores e postos para cada uma das configurações seleccionadas e são, então, seleccionadas as configurações de postos de trabalho tendo em conta o número de processadores, número de recursos diferentes por posto e número de funções ou versatilidade requerida para cada um dos postos.

O Projecto Detalhado instancia cada uma das configurações conceptuais de células e postos obtidas na fase anterior, eventualmente, requerendo alteração de algumas delas. Essa instanciação evolui para a selecção de configurações operacionais a adoptar, secção 3.4.. Caso necesssário faz o refinamento das famílias de produtos, previamente identificadas e forma novas famílias, ajusta o número de máquinas e faz a afectação das operações, do número de operadores e dos postos de trabalho a cada célula. Finalmente, o Projecto Detalhado define modos operatórios, descritos na secção 3.5., para as configurações operacionais e, também, os arranjos intracelular e intercelular mais adequados para a célula. Adicionalmente, tenta adequar um sistema de controlo de actividade produtiva para a integração e coordenação do SPOP constituído pelas células.

Cada uma destas fases requer ferramentas, i.e. aplicações, métodos, algoritmos, procedimentos e mecanismos para a sua realização. Exemplos de ferramentas que podem ser utilizadas estão descritas no apêndice B. A lista de ferramentas aí apresentada pode ser enriquecida em qualquer altura com o propósito de alargar a escolha e possibilitar a sua actualização no tempo. A aplicação de algumas ferramentas sugeridas é relativamente simples ao passo que outras mais complexas requerem competências específicas. Assim, a ajuda de peritos, nomeadamente, na área da análise económica, simulação e programação matemática pode ser necessária na aplicação de ferramentas de análise, de optimização e de avaliação de soluções alternativas. Particularmente usados no Projecto Detalhado apresentam-se no apêndice C métodos de apoio à formação e implementação de células e relacionando-os com cada uma das cinco actividades desta fase de projecto.

## **5.1. PROJECTO GENÉRICO (A1)**

O principal objectivo do Projecto Genérico é avaliar e seleccionar a configuração genérica do sistema de produção mais apropriada numa situação particular de produção

ou empresarial. As configurações genéricas em questão foram discutidas na secção 2.4. e são o Sistema de Produção Orientado ao Produto (SPOP) e o Sistema de Produção Orientado à Função (SPOF).

A escolha pode referir-se ao sistema de produção da empresa como um todo ou a parte dele. Pode-se conceber ser apropriado aplicar uma configuração numa área ou fase de produção, por exemplo, na produção de componentes e outra, geralmente a orientada ao produto, na fase da montagem. A escolha depende, como se disse dos objectivos produtivos, das características dos produtos, dos recursos e do sistema existente ou a instalar e, naturalmente do mercado. Este deve ser visto em várias dimensões tais como a da procura, a da concorrência e a do fornecimento de matérias primas e de serviços. É, portanto, indispensável a recolha de dados em relação a todos estes aspectos, factores ou variáveis e a sua utilização em modelos apropriados capazes de permitirem fazer escolhas entre alternativas possíveis numa base socio-técnica e económica. Para tal propósito, o Projecto Genérico está estruturado em três actividades, nomeadamente, o planeamento estratégico da produção (A11) e a análise da empresa e do mercado (A12) e a selecção da configuração genérica do sistema de produção (A13) como mostra a Figura 21. Esta última actividade determina a meta para a qual as outras duas colaboram.

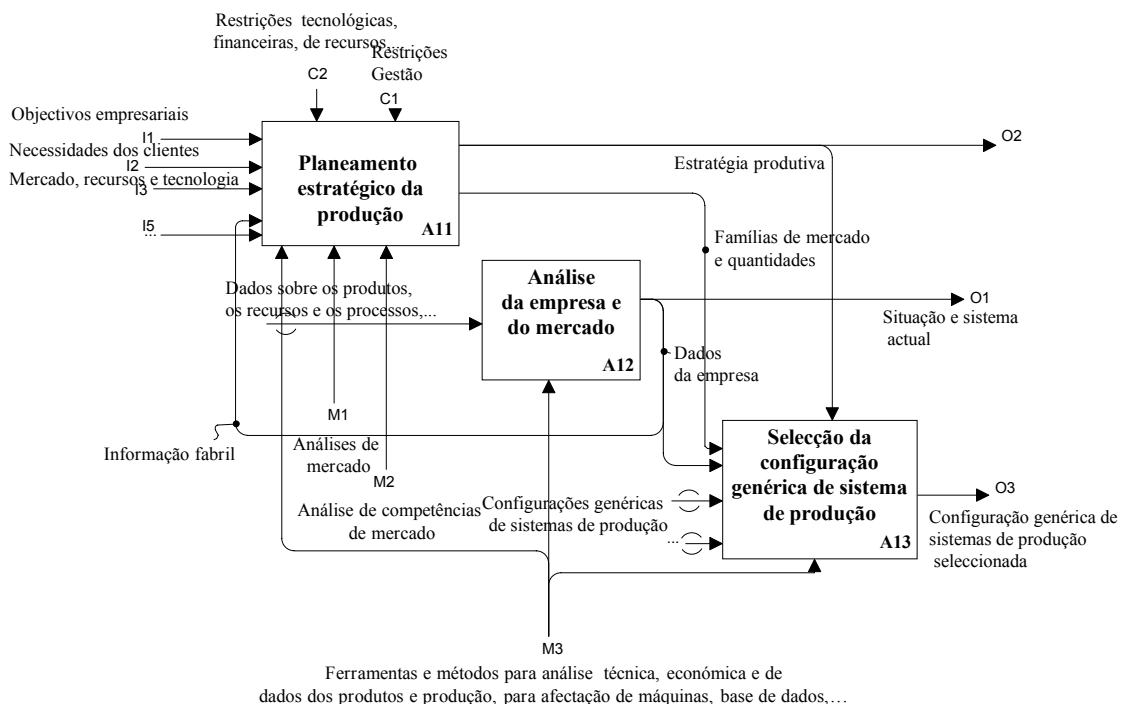


Figura 21. Projecto Genérico

A análise da solução a adoptar em termos de configuração do sistema de produção depende, por um lado, da realidade empresarial em termos de produção, recursos e instalações e da pretensão, por outro, de satisfazer os requisitos e procura de mercado num contexto concorrencial presente e futuro.

### **5.1.1. Planeamento estratégico da produção (A11)**

O planeamento estratégico de produção – A11 - procura preservar a capacidade competitiva da empresa assegurando a utilização eficaz dos seus recursos de produção. As principais acções são: definir a filosofia empresarial, identificar e avaliar o ambiente externo, políticas e objectivos, definir estratégias de gestão e produção, políticas e necessidades de recursos humanos, planear novos produtos, planear o investimento em instalações e equipamento, fazer o planeamento orçamental e de lucros, programar a longo prazo para atingir os objectivos empresariais, afectar recursos e avaliar globalmente o desempenho do negócio e da produção (Carmo-Silva, 2005).

Destas acções são particularmente relevantes as relacionadas com a formação de estratégias de produção, como o planeamento de produção dos produtos e o planeamento de investimento em instalações e equipamentos por terem um impacto directo na necessidade de projectar ou reconfigurar o sistema de produção.

Skinner (1969) realça a importância da estratégia de produção para assegurar a capacidade competitiva da empresa e as implicações estratégicas que o projecto de um sistema de produção envolve devido aos compromissos assumidos pelos gestores.

Para a formação de estratégias de produção é essencial conhecer os objectivos empresariais inseridos na estratégia de negócio para que esses objectivos se possam traduzir na estratégia de produção. Os objectivos concretizam a missão, isto é, o cenário desejável do futuro para a empresa e englobam os valores que se pretendem conseguir obter no futuro como resultado da actividade da empresa (Cardoso, 1998).

Uma estratégia de produção deve ser projectada em consonância com a estratégia de negócio e deve descrever a estrutura na qual se baseiam as decisões sobre os sistemas de produção e gestão da produção. O sistema de produção está tipicamente dependente da estratégia de produção e do ambiente operacional de actuação da empresa. Particularmente relevantes influentes no arranjo e tipo de sistema são as estratégias produtivas de resposta à procura, habitualmente classificadas em: Engenharia por

Encomenda - ETO, Produção por Encomenda - MTO, Produção para Stock - MTS, Montagem por Encomenda - ATO (Vollmann, 1997) e Produção por Procura - MTD (Oden, 1994), já referidas na secção 3.2.2.. Uma comparação das características e das diferenças entre estas estratégias é apresentada na Tabela 7.

**Tabela 7. Características da estratégia produtiva de resposta à procura**

Estratégia de resposta à procura (ERP)	Engenharia por encomenda - ETO	Produção por encomenda -MTO	Produção por Procura - MTD	Montagem por encomenda - ATO	Produção para stock - MTS
<b>1. Destino dos produtos</b>	Encomenda	Encomenda	Variável	Stock dos módulos	Stock
<b>2. Tempo que o cliente está disposto a esperar pela encomenda</b>	Elevado	Elevado	Variável	Reduzido/médio	Nenhum
<b>3. Variedade dos produtos</b>	Infinita	Elevada	Alguma	Elevada	Reduzida
<b>4. Natureza do produto</b>	<i>One of a kind</i>	Alguns de um tipo	Produtos flexíveis	Produtos modulares	Bens de consumo
<b>5. Procura</b>	Imprevisível	Imprevisível	Imprevisível	Previsível apenas para os módulos	Previsível
<b>6. Concorrência em tempo de resposta</b>	Nenhuma	Pouca	Variável	Moderada	Forte
<b>7. Satisfação de encomendas</b>	Dependente da capacidade	Dependente da capacidade	Dependente do que estiver em stock	Dependente de componentes e submontagens	Dependente de produtos finais
<b>8. Estrutura de BOM</b>	Únicos e criados para cada cliente	Únicos e criados para cada cliente	Únicos e criados para cada cliente	Planeados	Normalizados
<b>9. Base planeamento e programação da produção</b>	Encomendas	Compromissos e encomendas	Encomendas	Previsões e compromissos	Previsões
<b>10. Quantidade de produção</b>	Muito reduzida	Reduzida	Variável	Média	Elevada
<b>11. Contacto entre produção e cliente</b>	Ao nível da engenharia	Ao nível da eng <sup>a</sup> e vendas	Variável	Ao nível das vendas	Reduzido/distante

Já se referiu a necessidade de recolher dados em relação a critérios que ajudem na selecção da configuração genérica do sistema. Mas para ajudar nesta selecção estes critérios devem ser utilizados em modelos apropriados capazes de identificarem estratégias ou sistemas existentes ou permitirem fazer escolhas entre as alternativas possíveis. A estratégia de produção é um destes critérios mas para ter alguma utilidade na selecção do sistema é importante identificar a estratégia existente na empresa pois cada uma apela a uma abordagem e sistema de produção diferente.

Desta forma propõe-se neste trabalho um modelo que quantifique as características presentes na Tabela 7 permitindo a identificação da estratégia de produção numa empresa. Um modelo possível é o apresentado na Tabela 8, onde se atribui um valor de 0 a 100 ao valor qualitativo da característica. Por exemplo, a primeira característica – o destino dos produtos - pode ser 1) para encomenda; 2) variável, i.e., para encomenda ou stock, 3) para stock de módulos, no caso de uma produção modular, secção 3.2.2., ou 4) para stock e atribui-se “0”; “25”; “75” e “100”, respectivamente. O total para cada estratégia é depois calculado. Por exemplo, para a estratégia MTO o total de 150 é

conseguido somando: 5x “0” + 6x “25”. A coluna “Peso” da tabela surge se se pretender considerar cada característica com uma importância diferente para distinguir as estratégias, isto é, algumas características determinam mais profundamente a estratégia. Este peso é atribuído pelo utilizador, podendo depois calcular-se o total multiplicando a percentagem pelo peso e dividindo pelo soma dos pesos atribuídos.

**Tabela 8. Quantificação das características da estratégia produtiva de resposta à procura**

	Peso						
1		0	25	75	100		
		Encomenda	Variável	Stock dos módulos	Stock		
2		0	25	50	75	100	
		Elevado	Médio	Variável	Reduzido	Nenhum	
3		0	25	75	100		
		Infinita	Elevada	Alguma	Reduzida		
4		0	25	50	75	100	
		One of a kind	Alguns de um tipo	Produtos flexíveis	Produtos modulares	Bens de consumo	
5		0	50	100			
		Imprevisível	Previsível apenas para os módulos			Previsível	
6		0	25	50	75	100	
		Nenhuma	Pouca	Variável	Moderada	Forte	
7		0	25	75	100		
		Capacidade	stock	Componentes e submontagens	Produtos finais		
8		0	50	100			
		únicos e criados para cada cliente	Planeados	Normalizados			
9		0	25	75	100		
		Encomendas	Compromissos e encomendas	Previsões e compromissos	Previsões		
10		0	25	50	75	100	
		Muito reduzida	Reduzida	Variável	Média	Elevada	
11		0	25	50	75	100	
		Ao nível de eng <sup>a</sup>	Ao nível de eng <sup>a</sup> e vendas	Variável	Ao nível de vendas	Reduzido/distante	
ERP		0	150	375	675	725	1100
		ETO	MTO	MTD	ATO	MTS	
		0	13,63	34,1	61,3	65,9	100%

O resultado obtido na tabela pode ser invocado como um critério para ajudar a seleccionar a configuração genérica do sistema de produção mais adequado. Por exemplo, supondo que o resultado da tabela é de 150, significa que a estratégia é Produção por Encomenda (MTO). Esta estratégia, normalmente, requer um sistema versátil para produzir os produtos requeridos pelos clientes portanto a indicação de um SPOF ou um SPOP reconfigurável, físico ou virtual. Outros resultados nos intervalos dos valores apresentados na tabela serão obtidos que podem dificultar a identificação da estratégia portanto este modelo deve ser refinado, no entanto, como outros critérios serão usados para ajudar na tomada de decisão sobre a configuração mais adequada

descritos ao longo desta e das próximas duas secções seguintes, isso não será realizado neste trabalho.

O planeamento de produção de novos produtos, por implicar uma alteração na variedade e quantidades dos produtos a produzir no sistema, tende a conduzir à alteração do sistema ou, até, em alguns casos, à concepção de novo sistema. Este planeamento requer o conhecimento de necessidades dos clientes, de procura e dos requisitos de mercado e, assim como dos recursos e da tecnologia a utilizar e, ainda, da tecnologia existente de forma a encontrar processos adequados de produção.

As necessidades dos clientes associadas à procura são expressas inicialmente através de previsões, e posteriormente, de encomendas firmadas de artigos. As quantidades de produção e a variedade de produtos são, como se realçou no capítulo 2, duas das variáveis que mais influenciam a escolha da configuração do sistema de produção. São expressas no plano de produção, parte integrante do planeamento estratégico (Carmo-Silva, 2005). O plano de produção é apresentado em função de *famílias de produção* que, em alguns casos, podem ter uma correspondência directa com as *famílias de mercado*.

As famílias de produção são agrupamentos de produtos com requisitos de processamento similares; i.e., requerem os mesmos processos, equipamento, pessoas, instalações de produção e materiais. As famílias de mercado são agrupamentos de produtos que reúnem um conjunto de características funcionais e estéticas que as diferenciam tendo, por vezes, comportamentos de venda semelhantes ao longo do ano. Exemplos de famílias de mercado na indústria do vestuário são fatos de treinos, calças e saias; na indústria do calçado podem identificar-se sandálias, botas e sapatos; na indústria dos electrodomésticos são os frigoríficos, máquinas de lavar roupa e máquinas de lavar louça; na indústria de mobiliário: mesas, estantes e cadeiras.

As famílias de mercado são, por vezes, o ponto de partida para a formação de famílias de produção. No entanto, nem sempre há uma correspondência biunívoca entre elas. Isso depende das necessidades e meios de produção utilizados. Para efeitos de produção, se o sistema e os processos forem os mesmos para todas as famílias de mercado, o plano de produção poderá ser baseado apenas numa única família. No entanto, essa situação não é frequente. Vulgarmente várias famílias de mercado dão origem a uma de produção e uma família de mercado pode dar origem a duas ou mais famílias de

produção. Por exemplo, a família de mercado fatos de treino é constituído pelas calças e camisola, estas duas peças têm requisitos de processamento diferentes e portanto deve dar origem a duas famílias de produção diferentes. Cada uma destas famílias pode dar origem a uma célula que poderá ainda produzir outros produtos com requisitos semelhantes, por exemplo a célula para a produção da família das camisolas pode produzir outras camisolas.

As famílias de produção são, por vezes, de fácil identificação como é o caso quando existe produção modular, secção 3.2.2., destinada à produção de artigos com variantes e opções partilhando um mesmo modelo de base. Quando há opções e variantes a estrutura ou composição dos produtos pode indicar a existência de famílias de produtos que diferem apenas pelas suas variantes e opções. Quando as situações acima referidas não se verificam é necessário um processo de identificação de similaridades para encontrar famílias de produtos. Tal processo, na óptica da preparação de um plano de produção, deverá equacionar naturalmente produtos que partilham os mesmos recursos de produção ou partes específicas do sistema de produção. Encontrar as famílias de produção é um dos objectivos que contribui para projectar o sistema de produção orientado ao produto. Neste caso o produto deve ser visto como uma família.

O planeamento estratégico de produção deve estar ainda ao corrente do nível operacional fornecido pelos sistemas e da capacidade disponível que possui. Só assim tal planeamento será fiável e poderá implementar estratégias adequadas a viabilizar a produção planeada.

Decisões estratégicas como comprar, ou produzir dentro de portas, podem ser resultado do conhecimento das limitações de capacidade do sistema actual ou da falta de tecnologia ou competências específicas. O conhecimento destas limitações pode ainda levar a empresa a definir uma estratégia de produção que passe pela implementação de um novo sistema de produção ou a alteração do existente. Para comprar, a empresa precisa de conhecer os fornecedores e os concorrentes e a qualidade e custo dos produtos que oferecem. Essencialmente deve conhecer o mercado em que situa pois neste mercado podem ainda surgir oportunidades de negócio promovidas por novas tecnologias ou eliminar a necessidade de produção de alguns produtos que reforçam a necessidade da empresa estar atenta às mudanças. Por exemplo, a produção de *diskettes*

foi sendo substituída pela produção dos CD's estando esta agora ameaçada pela produção das *pens*.

Restrições de recursos, restrições financeiras, restrições tecnológicas e restrições de gestão podem condicionar as acções do planeamento estratégico, nomeadamente na elaboração dos planos estratégicos, no planeamento de investimentos e na formação de estratégias de produção.

### **5.1.2. Análise da empresa e do mercado (A12)**

A actividade de análise da empresa e do mercado (A12) procura recolher dados sobre a empresa relativamente aos produtos e aos recursos, às operações e aos processos operatórios, ao sistema de produção e à capacidade disponível e aos dados sobre a procura e o mercado. Estes dados devem ser guardados numa base de dados para serem utilizados na actividade seguinte de selecção da configuração genérica.

#### **5.1.2.1. Produtos e recursos**

Normalmente numa empresa tem-se produtos finais, produtos intermédios, componentes, peças e matéria-prima. Como os componentes e peças são integrados em produtos finais neste trabalho usa-se a classificação de produtos compostos e produtos simples, secção 3.1.. Esta classificação permite identificar a constituição de cada produto, isto é, a lista de materiais, considerando que cada produto pode ser sempre obtido a partir de outros.

Os recursos podem ser máquinas ou equipamentos, pessoas, ferramentas, armazéns e meios de transporte e manipulação. As máquinas são caracterizáveis pelas suas dimensões, facilidade de movimentação, localização, custo de aquisição ou preço e custo horário de utilização e por outras características. A evidência da necessidade dos preços prende-se com a tomada de decisão sobre possível aquisição. A facilidade de movimentação, a localização e o custo de deslocação prendem-se com a disponibilidade das máquinas na empresa e, principalmente, no mercado. Assim podendo estar na empresa podem não ser amovíveis ou a sua movimentação implicar custos incomportáveis. As mesmas situações podem ocorrer se estiverem no mercado acrescendo ainda os custos da subcontratação, de uso ou aluguer.



### 5.1.2.2. Operações e processos de fabrico

A cada produto está associado um conjunto de operações. Estas podem classificar-se em quatro tipos: de processamento, de transporte ou manipulação, de inspecção e de armazenagem. Uma operação de processamento define-se como um processo de conversão elementar exercido sobre um produto enquanto as restantes traduzem um estado em que se encontram os produtos.

As operações de processamento podem requerer máquinas e/ou pessoas e ferramentas. Normalmente existem máquinas do mesmo tipo ou ainda, de tipos diferentes, que podem realizar uma mesma operação. Estas possibilidades devem ser identificadas para que no momento de escolher uma máquina para uma operação seja escolhida a mais adequada dependendo do objectivo a atingir.

As operações de processamento de um produto define o seu processo de fabrico existindo relações de precedência que interessa conhecer e especificar. A especificação dos processos estrutura-se a quatro níveis: plano de processo, plano operatório, plano sequencial das operações e roteiro do produto (Silva et al., 2005). A um nível mais lato identifica-se o plano de processo de cada produto. Um plano de processo pode ser visto como uma rede de subprocessos (SP), Figura 22. Cada SP muda o estado de processamento do produto e pode envolver uma única ou um conjunto de operações de processamento. Um plano do processo representa teoricamente todos os possíveis processos alternativos para produzir um produto, i.e. os processos para levar o produto de um estado inicial de conversão a um estado final.

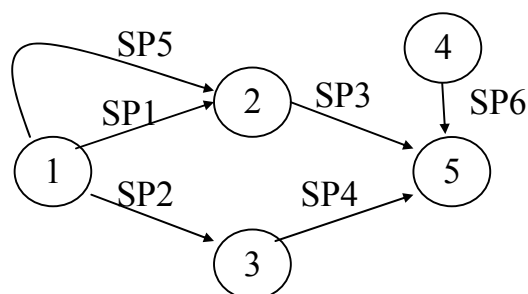


Figura 22. Representação de um plano de processo com vários subprocessos

O conjunto de SP de um plano do processo escolhido para converter um produto de um estado inicial para um estado final designa-se de *plano operatório* (PO), Figura 23, e este constitui o segundo nível.

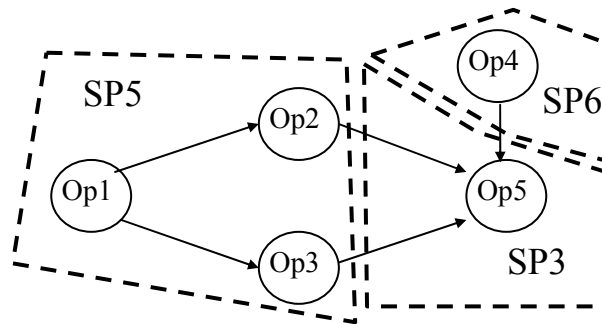


Figura 23. Representação de um plano operatório

Normalmente, um único plano de processo pode conter vários planos operatórios. Assim a um segundo nível hierárquico de especificação de processos, o plano operatório para o produto deve ser escolhido ou especificado. Uma vez que para chegar a um PO é, normalmente, necessário escolher de entre um conjunto de alternativas inseridas no plano do processo, uma decisão deve ser tomada. No projecto de SPOP, esta deve ter em consideração os objectivos do projecto, nomeadamente, os objectivos de eficazmente e dinamicamente reconfigurar os SPOP. Para fazer uma boa escolha é importante a interacção com o utilizador e a utilização de métodos adequados para a selecção do PO. Os PO são frequentemente o ponto de partida para a concepção de células ou linhas de produção e fornecem alternativas para a sequência em que algumas operações podem ser processadas. Isto flexibiliza as soluções organizacionais que se podem obter para um sistema de produção incluindo a sua configuração e modo operatório.

Inevitavelmente, a um terceiro nível é necessário especificar o *plano sequencial das operações* (PSO), i.e., a ordem pela qual cada operação do PO do produto é processada. Este plano sequencial pode ser designado de sequência operatória. Para uma configuração estabelecida de um sistema, este problema é mais um problema de escalonamento do que de projecto. No entanto, na mira de uma boa concepção de um SPOP, a escolha do PSO para um produto pode ser crítica. A Figura 24 mostra dois PSO em que a Op2 aparece antes e depois da Op3, sem contudo quebrar as restrições do PO.

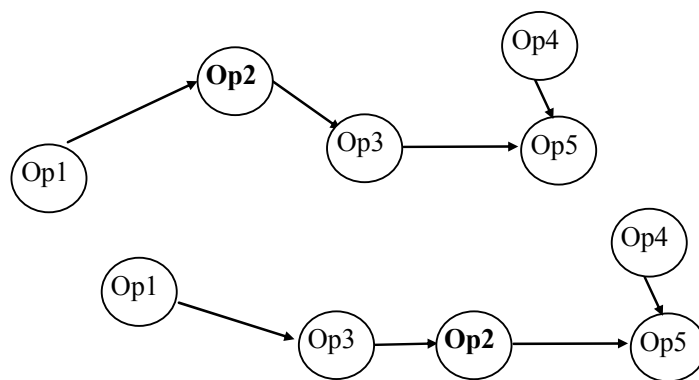


Figura 24. Representação de dois planos sequenciais de operações

O ultimo nível de especificação dos processos relaciona-se com a escolha dos recursos (equipamento, operadores) para processar cada operação do PSO. Quando um recurso é único a escolha é óbvia. No entanto, se mais que um existe, então existem alternativas de encaminhamento, sendo necessário um processo de selecção de recursos. Isto também é importante para o projecto de SPOP porque permite dar o passo final na selecção e afectação dos recursos a usar no processo de produção e, conseqüentemente, no sistema de produção. Esta sequência de operações associadas com os recursos que as executam designa-se de **roteiro do produto (RP)**.

Embora uma hierarquia dos passos do processo de decisão possa ser considerada desde os planos de processo aos roteiros do produto, todos ou, pelo menos, alguns dos passos podem ser integrados e obtidos de uma forma interactiva.

A escolha do processo de fabrico, baseada na informação explícita ou implícita dos planos de processo, é principalmente realizada nas fases de Projecto Conceptual - A2 - e de Projecto Detalhado - A3 - da metodologia GCD. Nesta fase de Projecto Genérico, o mais importante é a identificação dos processos principais, muitas vezes designadas de funções, a que estão associados unidades de equipamento principal. Por exemplo, na indústria do vestuário pode-se identificar vários processos principais como tinturaria, corte, confecção, bordado e estampagem, Tabela 9.

Tabela 9. Processos e equipamento principal de uma empresa de vestuário

Processos principais da empresa	Equipamento principal (tipo)	Unidades existentes	Intervalo de tempo que demora a movimentar
Tinturaria	Tanques	3	Elevado
Corte	Mesas de corte	2	Elevado
Confecção	Máquinas de corte e cose	47	Alguns minutos
	Máquinas de ponto corrido	13	
	Outras	20	
Bordado	Empresa X	1	-----
Estampagem	Empresa Y e Z	2	-----

O processo confecção requer várias máquinas diferentes. Cada máquina faz muitas operações de processamento semelhantes para cada produto que apenas se distinguem pelo tempo que demoram a executar e pela designação específica. Assim considerou-se neste trabalho haver necessidade de, a um nível superior ao das operações de processamento, considerar operações genéricas (OpG) para limitar a proliferação de operações semelhantes que nada acrescentam para o objectivo de encontrar famílias de produção para o SPOP.

Assim, operações genéricas são operações de transformação de natureza diferenciada realizadas por equipamento principal. Podem ser realizadas usando diferentes acessórios ou ferramentas. Por exemplo, na indústria do vestuário uma máquina de costura pode ser simples e só fazer operações de corte e cose e ter aparelho de franzir e fazer as operações de franzir. Embora se identifiquem com um equipamento principal se existirem mais equipamentos que fazem uma OpG estes devem ser identificados. Um produto pode ter uma ou mais operações genéricas que por sua vez têm uma ou mais operações de processamento que são operações genéricas instanciadas por uma designação específica e um tempo de referência. Tempo de referência é o tempo da operação para uma eficiência considerada normal. Isto assume tempos maiores para um operador/máquina com baixa eficiência ou desempenho e, naturalmente, menores no caso contrário. Esta eficiência é uma variável característica dos operadores e máquinas na execução das diferentes operações.

No exemplo da Tabela 9 no processo principal confecção existem pelo menos duas operações genéricas: as operações de corte e cose e as operações de ponto corrido. Na operação de corte e cose que utilizam a máquina de corte e cose existem várias operações como preparar e coser gola.

A reconfigurabilidade para um SPOP neste trabalho é, sempre que possível, procurada primeiro através da amovibilidade e facilidade de manuseamento do equipamento, i.e. rearranjo de máquinas, reafecção de operadores e/ou rearranjo da implantação e só depois através de outras estratégias. Tal permite a reconfiguração rápida e de baixo custo do sistema para o adaptar a novas exigências de produção. Desta forma procurar saber se os equipamentos são amovíveis e que tempo demoram a movimentar é um dado importante e está relacionado com o tempo necessário previsto para reconfigurar o sistema, i.e. tempo de reconfiguração (Tr). Este tempo que deve ser uma pequena

percentagem do tempo de funcionamento do sistema, sem reconfiguração, reflecte a viabilidade de reconfigurar o sistema. Imagine-se um sistema que vai funcionar durante 2 anos, se o tempo para o reconfigurar é de 1 mês então esta reconfiguração pode ser viável. No entanto, para um sistema que funcione durante 6 meses o tempo de reconfiguração de 1 mês implica 16% do tempo de funcionamento. Este elevado valor pode tornar pouco atractiva a reconfiguração física do sistema, podendo apontar a configuração virtual como vantajosa.

Justifica-se assim a quarta coluna da Tabela 9 que mostra ser o processo da confecção relativamente rápido a reconfigurar. No entanto, o facto de existirem estruturas fixas, como é o caso do tanque, com tempos elevados de movimentação ou reposicionamento não invalida a formação de células. Neste caso o conceito de máquina chave (Gallagher e Knight, 1973, e Burbidge, 1989, 1992) ou as células virtuais descritas na secção 3.4.4. são estratégias de considerar na reconfiguração de sistemas de produção.

### 5.1.2.3. Sistema de produção

A Tabela 10 apresenta as características mais importantes das duas configurações genéricas discutidas na secção 2.4.

**Tabela 10. Caracterização dos SPOF vs. SPOP**

Características	Posicionamento/grau	
	SPOF	SPOP
Tipo de configuração genérica	Por processo ou funcional	Por produto
Tipo de implantação fabril	Oficina	Linha e célula
Tamanho do lote	Fabricação unitária/ pequenas séries	De grandes a pequenas séries
Tempo de produção por unidade	Longo, variável	Curto, constante
Custo unitário por artigo	Elevado	Reduzido e médio
Fluxos de produção	Imprevisíveis	Bem definidos e previsíveis
Planos de processos e sequência operatória	Diversificada	Previamente definidos e uniformes
Preparação do trabalho ou dos processos	“Ad hoc”	Rigorosa
Controlo da produção	Difícil	Fácil
Tempos de preparação (% do total)	Elevados	Baixos
Máquinas/postos de trabalho	Simplex, flexíveis	Complexas e dedicadas
Utilização do equipamento	Baixa e muito baixa	Elevada
Mão de obra	Elevada e funcional	Especializada e polivalente
Risco de investimento	Baixo	Elevado e médio
Dedicação do sistema	Todos os produtos	A um produto

A caracterização de um sistema de produção instalado na empresa não é fácil pois a maior parte das vezes não existe uma configuração pura mas híbrida. No entanto, esta tabela pode ser usada como padrão para caracterizar o sistema instalado na empresa,

através da quantificação das características num processo semelhante ao da identificação da estratégia. Assim utilizando novamente as características da Tabela 10 pode-se tentar identificar o sistema actual reconhecendo no sistema implementado estas características, Tabela 11.

Tabela 11. Caracterização do sistema actual

Características sistema actual	Quantificação	
1. Tipo de configuração genérica	0	100%
	Por processo ou funcional	Por produto
2. Tipo de implantação fabril	0	100%
	Oficina funcional	Linha célula
3. Tamanho do lote	0	100%
	Fabricação unitária/pequenas séries	De grandes a pequenas séries
4. Tempo de produção por unidade	0	100%
	Longo, variável	Curto, constante
5. Custo unitário por artigo	0	100%
	Elevado	Reduzido e médio
6. Fluxos de produção	0	100%
	Imprevisíveis	Bem definidos e previsíveis
7. Planos de processos e sequência operatória	0	100%
	Diversificada	Previamente definidos e uniformes
8. Preparação do trabalho ou dos processos	0	100%
	“Ad hoc”	Rigorosa
9. Controlo da produção	0	100%
	Difícil	Fácil
10. Tempos de preparação (% do total)	0	100%
	Elevados	Baixos
11. Máquinas/postos de trabalho	0	100%
	Simplex, flexíveis	Complexas e dedicadas
12. Utilização do equipamento	0	100%
	Baixa e muito baixa	Elevada
13. Mão de obra	0	100%
	Elevada e funcional	Especializada e polivalente
14. Risco de investimento	0	100%
	Baixo	Elevado e médio
15. Dedicção do sistema	0	100%
	Todos os produtos	Um produto ou família
Total	0	1500
	SPOF	SPOP

Os valores do tempo de produção unitário, da quantidade anual, da variedade de produtos, do período e dos turnos de trabalho são dados importantes para cálculos na actividade seguinte de selecção da configuração genérica mais adequada.

Conhecer o desempenho e a capacidade do sistema existente, isto é avaliar as competências e deficiências do actual sistema de produção ajudam a planear as

competências que o sistema a instalar deve possuir. Tais deficiências podem traduzir-se através de problemas, por exemplo:

- Elevados tempos de produção
- Elevado trabalho em curso de fabrico (WIP)
- Elevados tempos de movimentação
- Elevados tempos de preparação
- Elevado tempo de entrega ao cliente
- Elevado número de encomendas em atraso
- Reduzida flexibilidade de produção
- Custo unitário elevado do produto
- Planeamento e controlo da produção complexo
- Difícil envolvimento dos operários
- Absentismo elevado dos operários
- Elevada taxa de defeitos das peças
- Elevada taxa de defeitos de produtos
- Elevado stock de produtos acabados
- Complexidade dos fluxos de trabalho
- Frequente paragem das máquinas

As metodologias, classificadas no capítulo anterior como de melhoramento, partem da análise ao sistema de produção actual no sentido de o melhorar, em particular, a metodologia de Suri escolhe para objecto de estudo um produto cujo tempo de entrega é considerado exagerado.

Também Wemmerlöv e Johnson (2000) na pesquisa que realizaram sobre a formação de famílias nas empresas concluíram que a motivação para formar famílias resultavam muitas vezes da necessidade de resolver problemas operacionais, tais como: problemas de desempenho devido a produtos entregues fora do prazo e a produtos que acumulavam em curso de fabrico ou problemas de envolvimento dos operadores ou da facilidade de rearrranjo das máquinas.

#### ***5.1.2.4. Estrutura de mercado***

O conhecimento das necessidades de mercado em termos do comportamento da procura, como se observou no capítulo 2, é importante para o projecto do sistema de produção, sendo-o também para a escolha do sistema mais adequado. Pode-se então caracterizar o mercado relativamente à procura em estável se a procura é garantida no médio e longo prazo e em instável se é conhecida apenas no curto prazo. Pode-se ainda definir a variação da procura como regular se a variação da procura é reduzida e irregular se a variação é acentuada. A regularidade/irregularidade quer da variação das quantidades quer da variação dos produtos é relevante ao projecto da configuração do sistema.

Assim, se, por exemplo, a procura variar acentuadamente torna-se necessário um sistema flexível ou rapidamente reconfigurável.

### **5.1.3. Selecção da configuração genérica do sistema de produção (A13)**

A selecção da configuração genérica do sistema de produção – A13 - é a terceira actividade do Projecto Genérico. Nesta actividade procura-se identificar e seleccionar a configuração genérica do sistema de produção mais adequado face aos dados e informações recolhidos nas actividades anteriores. Assim, são usados 6 critérios que se relacionam com a situação estratégica e operacional, i.e. condições produtivas e organizacionais encontradas e desejadas para a empresa, nomeadamente, com os produtos e quantidades destes, com a configuração genérica existente e pretendida, com a estratégia de produção, com o tipo de procura e com identificação de problemas operacionais do sistema existente.

Nesta fase apenas a escolha entre os Sistemas de Produção Orientados ao Produto (SPOP) e os Sistemas de Produção Orientados à Função (SPOF) ou, alguma forma híbrida destas, está em causa.

Para esta selecção também é importante e determinante algumas decisões tomadas nas actividades anteriores relativamente ao que, quanto e como produzir. São, assim, restrições à selecção da configuração genérica do sistema as saídas das actividades do planeamento estratégico da produção e da análise da empresa que vão apontando características que o sistema deve possuir e/ou orientando para o sistema mais adequado.

#### **Critério 1 – Relação Q/P**

Reconhece-se que existe uma relação entre variedade e a quantidade de produtos finais produzidos pela empresa e a configuração do sistema de produção representada na matriz produto-processo de Hayes e Wheelwright (1979a) ou no gráfico P-Q de Hitomi (1979) resultado da análise da quantidade *vs* variedade de produtos. Assim é natural que estes elementos sejam ponderados na selecção da configuração genérica de sistemas de produção. Alguns autores estabelecem limites para a variedade e a quantidade dos produtos encaixando-as nas configurações que consideram mais adequadas. Por exemplo, Maleki (1991) (citado em Luong et al., 2002) considera que se a quantidade de produção anual (Q) se situar entre 25 e 15000 e a variedade de produtos (P) estiver



entre 1 ou 2 e 800, o SPOF pode ser convertido em células. Este critério está representado no gráfico da Figura 25, adaptado de Luong et al. (2002).

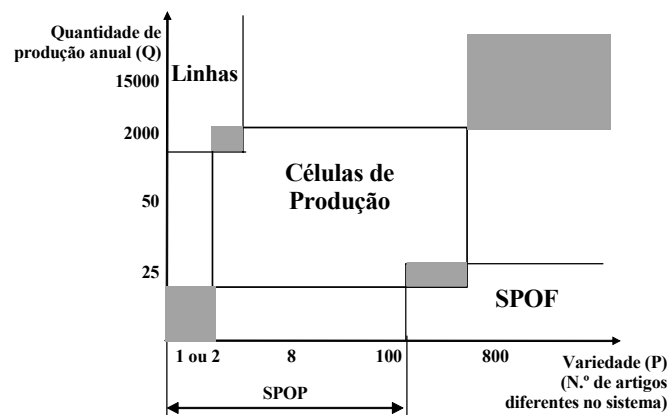


Figura 25. Relação Q e P para selecção de sistemas de produção

Embora tal relação seja de alguma forma intuitiva, o estabelecimento destes limites é empírico e deixa várias situações a descoberto (zonas a sombreado). Além das situações de sobreposição tem-se as situações de baixa quantidade de produção e pequena variedade e elevada quantidade de produção e elevada variedade. Nestes casos, Brandon (1996, citado em Luong et al., 2002) propõe a razão  $Q/P$ . Esta razão indica a quantidade de produção média anual por item. Segundo este autor para uma razão baixa ( $\leq 50$ ) é aconselhável um SPOF, para uma razão elevada ( $\geq 10000$ ) são aconselháveis as linhas e para uma razão média ( $>50$  e  $<10000$ ) são aconselháveis as células.

Embora a quantidade e a variedade dos produtos a produzir sejam dados indispensáveis para a análise e avaliação não é suficiente fazer o enquadramento apenas com base no gráfico ou na razão  $Q/P$  pois não consideram a utilização das máquinas nem das células e por esta razão podem conduzir a más ou impraticáveis recomendações, principalmente quando o tempo de processamento das máquinas para algumas operações é muito curto, como Luong et al. (2002) alertam. Mais adequado parece ser a utilização de dois critérios: a razão  $Q/P$  e o tempo de produção anual (TPA). O TPA é o produto da razão  $Q/P$  e o tempo de produção médio por artigo ( $T_p$ ), para avaliar a viabilidade das células, usados por Luong et al. (2002).

Para formalizar o processo de decisão que conduz à selecção da configuração mais adequada, adaptou-se a tabela de decisão construída em Luong et al. (2002) considerando em avaliação as duas configurações genéricas, Tabela 12.

**Tabela 12. Tabela de decisão para a selecção entre SPOP e SPOF**

Q/P	TPA ((Q/P*Tp)/(HS *60)) (semanas)	Tipo de sistema
Baixo ( $\leq 50$ )	Baixo ( $\leq 4$ )	SPOF
50<Médio< 10000	Baixo	SPOP
Elevado $\geq 10000$	Baixo	SPOP
Baixo	4<Médio<40	SPOF
Médio	Médio	SPOP
Elevado	Médio	SPOP
Baixo	Elevado $\geq 40$	SPOP
Médio	Elevado	SPOP
Elevado	Elevado	SPOP

HS: Horas semanais

Segundo Monteiro e Reis (s.d.) uma tabela de decisão é uma estrutura para a descrição de um conjunto de regras de decisão relacionadas. O seu desenvolvimento, que teve início em 1957, resultou do aprofundamento do estudo de métodos tabulares de descrição lógica, acompanhado da explicitação da relação «se... então» neles implícita. Uma tabela de decisão no formato padrão lista as condições e acções do lado esquerdo e as regras de decisão do lado direito lidas verticalmente de cima para baixo (tabela de regra vertical). Existem ainda outros formatos para as tabelas incluindo a tabela de regra horizontal cujo exemplo é o da Tabela 12, em que a acção é a recomendação do tipo de sistema adequado nas condições da tabela. Outros autores, nomeadamente, Turban e Aronson (1998) designam as condições de atributos listando-se para cada atributo os valores possíveis. Depois é desenvolvida a lista de conclusões (acções).

Considere-se dois pequenos exemplos para demonstrar o funcionamento da tabela: no primeiro uma empresa produz anualmente 5000 unidades e tem 50 produtos finais diferentes. O rácio Q/P fica no intervalo “médio” e o TPA no intervalo “baixo” (considerando um Tp de 2 minutos e 40 horas semanais) e o resultado da tabela é “SPOP”. No segundo exemplo, uma empresa produz anualmente 30 unidades, tem 500 produtos diferentes e o Tp é de 5 horas. O rácio Q/P fica no intervalo “baixo” e o TPA no intervalo “baixo” logo o resultado é SPOF.

Considerar apenas o resultado desta tabela para tomar uma decisão tão importante como é a selecção do sistema não é suficiente, são necessários outros critérios para uma tomada de decisão final.

### **Critério 2 – Escolha da configuração genérica**

Outro critério que se considera importante considerar neste processo é o posicionamento das configurações genéricas relativamente às características apresentadas na Tabela 10,

isto é, através destas características pode ser possível quantificar a pretensão por uma configuração. Esta quantificação foi realizada através do método de análise pesada de factores (WFA)<sup>19</sup> (Nyman, 1992) adaptando as características da Tabela 10 e acrescentando características adicionais aos factores de avaliação, Tabela 13.

O WFA permite a ordenação das alternativas (neste caso o SPOP e o SPOF) e selecção daquela que somar mais valores. Embora existam outros métodos (Clemen, 1991), alguns apresentados no apêndice B, este é talvez o mais simples para exemplificar de como as características do sistema podem ser usadas na tomada de decisão. Os passos a seguir são:

1. Atribuir um peso a cada factor numa escala de 1 a 10 (10 é o mais importante). O mesmo peso pode ser atribuído a mais do que um factor.
2. Ordenar cada alternativa para cada factor numa escala de 1 até 5 (5 é o mais importante) ou numa escala de 0-1 (Clemen, 1991).
3. Calcular o valor para cada factor em cada alternativa, multiplicando o peso pelo número de ordem.
4. Somar os valores obtidos para cada alternativa e comparar estes valores por alternativa.

**Tabela 13. Aplicação do método de análise pesada de factores para selecção entre SPOP e SPOF**

Factores de avaliação	Peso	SPOP	SPOF
Elevada taxa de produção		5	2
Elevada variedade de produtos		2	5
Possibilidade de reconfigurar o sistema sempre que muda o leque de produtos		5	2
Dedicação do sistema a um produto ou família		5	2
Sistema imutável, permanente para todos os produtos		2	5
Tempo de produção curto por unidade		5	2
Custo unitário reduzido por artigo		5	2
Fluxos de produção bem definidos e previsíveis		5	2
Planos de processos e sequência operatória previamente definidos e uniformes		5	2
Preparação do trabalho ou dos processo rigorosa		5	2
Controlo da produção facilitado		5	2
Tempos de preparação (% do total)		2	5
Rapidez de entrega dos produtos		5	2
Utilização de equipamento		2	5
Ocupação das pessoas		5	2
Qualidade dos produtos		5	2
Aproximar o tempo de percurso do produto ao tempo de produção		5	2

A atribuição do peso ao factor (primeiro passo de aplicação do método) é realizado pelo utilizador que deve pontuar de acordo com o que é mais importante para o sistema que pretende.

<sup>19</sup> Weighted Factor Analysis

O resultado desta tabela ainda não é suficiente para seleccionar a configuração mais adequada, principalmente quando os resultados são muito próximos que requeria outras acções para a sua análise (Nyman, 1992) mas contribui como mais uma ajuda para o processo de decisão. Assim critérios das actividades anteriores, planeamento estratégico e análise da empresa, devem ser considerados para chegar a uma solução, nomeadamente a identificação das famílias de mercado, a identificação da estratégia de produção e a identificação da estrutura do mercado.

### **Critério 3 – Estratégia de produção vs configuração genérica**

As Tabela 7 e Tabela 8 que caracterizam e identificam a estratégia de produção, respectivamente, são também usadas como mais um critério para determinar a configuração genérica do sistema de produção mais adequado, como se pode ver na Tabela 14.

**Tabela 14. Relação da estratégia de produção com a configuração genérica do sistema de produção**

<b>Total</b>	<b>Estratégia de Resposta à Procura (ERP)</b>	<b>Configuração genérica do sistema</b>
0	Engenharia por encomenda (ETO)	SPOP
150	Produção por encomenda (MTO)	SPOF/SPOP
375	Fabrico por Procura (MTD)	SPOP/SPOF
675-725	Montagem por encomenda (ATO)	SPOP
1100	Produção para stock (MTS)	SPOP

### **Critério 4 – Estrutura de mercado vs configuração genérica**

Na secção anterior, da análise da empresa e do mercado, falou-se da necessidade de conhecer a estrutura do mercado. Esta relaciona-se com o sistema de produção da forma apresentada na Tabela 15.

**Tabela 15. Relação tipo de procura com a configuração genérica**

Estável (procura garantida no médio e longo prazo)	Regular (variação da procura reduzida)	Quantidade	SPOP
		Variedade	SPOP
	Irregular (variação da procura acentuada)	Quantidade	SPOP
		Variedade	SPOP
Instável (procura conhecida no curto prazo)	Regular	Quantidade	SPOP
		Variedade	SPOP
	Irregular	Quantidade	SPOP
		Variedade	SPOP

### **Critério 5 – Identificação do sistema existente**

Se já existe um sistema implementado é relevante para o processo de decisão conhecê-lo e identificar se haverá um processo de mudança (mais amplo) para outro sistema ou apenas uma reconfiguração do mesmo sistema. Através da Tabela 11 é possível

identificar o sistema actual e considerar este como mais um critério para a tomada de decisão.

Se para as quinze características foi dada a resposta zero então não existem dúvidas sobre o sistema implementado: é um SPOF. Se as quinze respostas foram 100 então o SPOF está implementado. No entanto, não é necessário dar resposta a todas as características, podendo associar-se uma probabilidade ao resultado obtido. Por exemplo se foram dadas 11 respostas, 5 respostas “0” e 6 respostas “100”, pode dizer-se que a probabilidade de o sistema ser um SPOF é de aproximadamente 55%, embora este resultado tenha apenas 73% de probabilidade de estar certo.

### **Critério 6 – Identificação de problemas no sistema existente**

O desencadeamento para a reconfiguração do sistema pode advir da existência de problemas do sistema actual implementado pelo que identificar estes problemas pode ser o gatilho necessário para a mudança. Estes problemas estão directamente relacionados com os factores de motivação para a implementação de células enunciados por vários autores, nomeadamente, Askin e Estrada (1999) e Wemmerlöv e Johnson (2000). Esta identificação realizada na actividade A12, análise da empresa, pode também ser facultada através duma tabela onde são assinalados os problemas existentes e considerar-se como mais um critério para o processo de decisão, Tabela 16.

**Tabela 16. Identificação de problemas que poderão ocorrer na empresa mais frequentemente**

1	Elevados tempos de produção
2	Elevado trabalho em curso de fabrico (WIP)
3	Elevados tempos de movimentação
4	Elevados tempos de preparação
5	Elevado tempo de resposta ao cliente
6	Elevado número de encomendas em atraso
7	Reduzida flexibilidade de produção
8	Custo unitário elevado do produto
9	Planeamento e controlo da produção complexo
10	Difícil envolvimento dos operários
11	Absentismo elevado dos operários
12	Elevada taxa de defeitos das peças
13	Elevada taxa de defeitos de produtos
14	Elevado stock de produtos acabados
15	Complexidade dos fluxos de trabalho
16	Frequente paragem das máquinas

Estes problemas estão relacionados portanto assinalar um deles pode querer dizer que outros existem, assim a não ser que a empresa clarifique expressamente que não

considera relevante determinado problema, qualquer um deles pode ser motivo para a mudança.

**Consideração dos critérios numa tabela de decisão final**

Até aqui foram apresentados 6 critérios para usar no processo de decisão para a selecção da configuração mais adequada: a tabela de decisão que relaciona Q/P (critério 1), selecção entre SPOP/SPOF (critério 2), identificação da estratégia de resposta à procura (critério 3), caracterização da estrutura de mercado da empresa (critério 4), identificação do sistema existente (critério 5) e, por último, identificação dos problemas do sistema existente (critério 6). Com estes critérios pretende-se criar uma tabela de decisão final, Tabela 17, com os resultados possíveis obtidos pelos critérios.

**Tabela 17. Combinação de critérios finais para selecção entre SPOP e SPOF**

Critérios finais / possíveis resultados	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	R16	R17	R18
<b>C1 - resultado da tabela de decisão</b>																		
SPOP	X	X	X	X	X	X												
SPOF							X	X	X	X	X	X						
NR													X	X	X	X	X	X
<b>C2 - resultado da selecção</b>																		
SPOP	X							X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
SPOF		X	X	X	X	X	X											X
2 Respostas	SP OP						SP OF											SPOF
<b>C3 - estratégia de produção</b>																		
ETO, ATO, MTS (SPOP)		X		X	X	X		X		X	X	X	X		X	X	X	
MTO, MTD (SPOP/SPOF)			X						X					X				
<b>C4 - estrutura do mercado</b>																		
Estável/instável, regular/irregular, quantidade variedade (SPOP)		X	X		X	X		X	X		X	X	X	X		X	X	
Instável, irregular, variedade (SPOF)				X						X					X			
<b>C5 - sistema actual</b>																		
SPOP		X	X	X		X		X	X	X		X	X	X	X		X	
SPOF					X					X						X		
<b>C6 - identificação de problemas</b>																		
Acção	SP OP	SP OP 83	SP OP 66	SP OP 66	SP OP 66	SP OP 66	SP OF	SP OP 83	SPOP 66	SPOP 66	SPOP 66	SPOP 66	SPOP 83	SPOP 66	SPOP 66	SPOP 66	SPOP 66	SPOF
					1)						1)					1)		

1) nos casos em que o resultado do sistema actual é um SPOF e o utilizador/ decisor aceitar implementar um SPOP haverá lugar à conversão do sistema para SPOP

Consideram-se os dois primeiros critérios os mais importantes porque traduzem o sistema que se pretende e se forem concordantes, i.e, se derem a mesma solução

considera-se desnecessário averiguar os restantes. O número total de resultados a considerar seria de  $R = 3 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 = 96$  mas apenas 18 se consideram ser relevantes neste processo pois não interessa analisar situações de obtenção na tabela de decisão de SPOF e resposta não conclusiva (NR) porque a aplicação da metodologia só continua com a obtenção do resultado SPOP. À excepção do resultado R1 todos os outros resultados “SPOP” têm uma probabilidade associada.

Além destes critérios, a identificação das famílias de mercado e a identificação dos processos são relevantes para a tomada de decisão e entram na fase do Projecto Conceptual juntamente com a configuração genérica seleccionada que para dar continuidade à aplicação da metodologia deve ser um SPOP.

## 5.2. PROJECTO CONCEPTUAL (A2)

O Projecto Conceptual (A2) é a segunda fase da metodologia onde se procede à análise e comparação de configurações conceptuais de Sistemas de Produção Orientados ao Produto. Estas configurações são analisadas e comparadas, tendo em conta restrições impostas pela fase do Projecto Genérico. Posteriormente, e utilizando ferramentas adequadas à avaliação e selecção de alternativas é seleccionada uma configuração conceptual. Decompõe-se em duas actividades: a selecção da configuração conceptual (A21) e a selecção de postos de trabalho (A22), Figura 26.

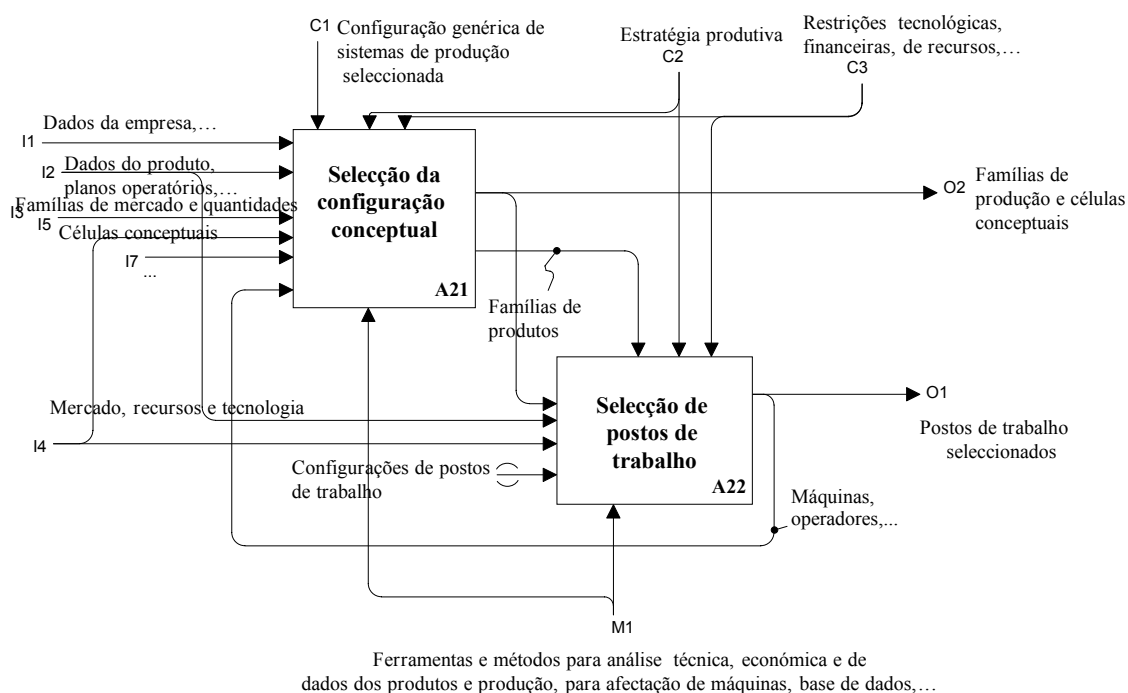


Figura 26. Projecto Conceptual

Na actividade da selecção da configuração conceptual (A21) pretende-se seleccionar uma ou mais configurações conceptuais de SPOP. Para isso são importantes muitas informações já recolhidas na fase anterior, nomeadamente, as famílias de mercado e as quantidades, os planos operatórios e outros dados da empresa, por exemplo, os tempos de produção e período de trabalho. É ainda necessário tomar em conta as configurações de células conceptuais, apresentadas na secção 3.3., e o mercado, recursos e tecnologia existente fora da empresa que podem tornar viáveis outras configurações.

Identificadas as configurações de células conceptuais, a actividade de selecção de postos de trabalho define os postos de trabalho face às máquinas e operadores usados nas operações de cada uma das células formadas perante a disponibilidade existente. Além dos dados do produto e informações do mercado, recursos e tecnologia é importante conhecer as configurações de postos de trabalho para seleccionar a configuração adequada.

### **5.2.1. Selecção da configuração conceptual (A21)**

Nesta actividade de selecção da configuração conceptual - A21, deve-se escolher entre células básicas, i.e. sem partilha de equipamento; não básicas, i.e. com partilha de equipamento entre células ou entre uma célula e um equipamento principal ou as duas, i.e. várias células com diferentes configurações, descritas na secção 3.3.. Para isso, são importantes as famílias de produção e os equipamentos principais necessários aos processos destas famílias que se procura identificar nesta actividade.

Também importantes e que podem ajudar na tomada da decisão são os factores como a dificuldade de reconfiguração, as quantidades por produto a produzir de cada vez que se relaciona com as datas de entrega e a existência de fluxos intercelulares. O padrão de procura no tempo também é fundamental para tomar a decisão de dedicar células a cada produto ou produzir uma família de produtos na mesma célula.

#### **Critério 1 – Selecção da configuração conceptual**

Para tentar quantificar o valor destes factores aplicou-se novamente o método de análise pesada de factores tendo como alternativas as células básicas (CB) e células não básicas (CNB), Tabela 18. O utilizador/decisor dá os pesos de acordo com a importância que atribui aos factores.



**Tabela 18. Quantificação dos factores face às configurações**

Factores de avaliação	Peso	CB	CNB
Independência das células		5	1
Redução do número de famílias de produtos		2	5
Partilha de equipamento		1	5
Minimização de movimento intercelular		5	1
Minimização dos tempos de espera		5	2
Facilidade de reconfiguração		5	2

A existência de factores incompatíveis nesta tabela, por exemplo, independência das células e necessidade de partilha de equipamento, requer que o objectivo para a formação de células esteja muito claro para que os pesos atribuídos façam sentido. Por exemplo, o objectivo pode ser reduzir as famílias de produção devido à impossibilidade de disponibilizar equipamento suficiente requer a atribuição de pesos elevados a estes factores. No entanto, é de esperar que o processo de produção complique e os fluxos de produção aumentem entre células pois a semelhança entre produtos fica de alguma forma comprometida nas famílias formadas. Compromete-se a autonomia de produção e pode perder-se eficiência.

### **Critério 2 – Relação Q/P**

Além do resultado obtido na avaliação de factores pode-se ainda usar a tabela de decisão, Tabela 19, adaptada de Luong et al. (2002), sendo  $C_p$  a capacidade do sistema que deve ser um dado da empresa recolhido na fase anterior.

**Tabela 19. Tabela de decisão para selecção entre CB e CNB**

Q/P	TPA ( $Q/P \cdot T_p$ )	Carga anual ( $Q \cdot T_p / (60 \cdot HT \cdot DT)$ )	
50 < Médio < 10000	Baixo (< 4)	> $C_p$	Célula não básica
Elevado $\geq 10000$	Baixo	> $C_p$	Célula não básica
Médio	Médio	> $C_p$	Célula não básica
Elevado	Médio	< $C_p$	Célula básica
Baixo	Elevado ( $\geq 40$ )	< $C_p$	Célula básica
Médio	Elevado	< $C_p$	Célula básica
Elevado	Elevado	< $C_p$	Célula básica

HT: horas de trabalho num dia normal; DT: dias de trabalho por semana

### **Consideração dos critérios numa tabela de decisão final**

Com estes dois critérios constroi-se uma matriz de resultados para seleccionar entre células básicas e não básicas, Tabela 20.

**Tabela 20. Combinação de critérios para selecção entre CB e CNB**

Critérios/possíveis resultados	R1	R2	R3	R4	R5	R6
C1 – resultado do método de análise pesada de factores	X	X	X	X	X	X
C2 – resultado da tabela de decisão	X	X	X	X	X	X
	CB	CB (50)	CB (50)	CB (50)	CNB	CNB

Seleccionar entre células básicas e não básicas é apenas uma parte do problema porque depois ainda é necessário saber o tipo de fluxo de trabalho. Para isso é determinante conhecer o que as células vão produzir, i.e., as famílias de produção. Como a orientação ao produto pretendida pode encontrar-se nas famílias de mercado, estas devem ser analisadas para procurar possíveis famílias de produção que podem ser baseadas num factor comum como: os processos principais, os materiais usados, a manipulação e transporte, a forma, o tamanho, o peso, as tolerâncias, o mercado, a área geográfica, o cliente, os custos de produção ou o uso dos mesmos meios de produção.

Identificadas as famílias de mercado, estas podem originar famílias de produção, podendo ocorrer várias situações, Tabela 21:

- Uma família de mercado  $\Leftrightarrow$  uma família de produção (linha 1, coluna 1)
- Uma família de mercado  $\Leftrightarrow$  duas ou mais famílias de produção (desagregação) (linha 2, coluna 2 e n)
- Duas ou mais famílias de mercado  $\Leftrightarrow$  uma família de produção (agregação) (linhas 2 e n, coluna 2)
- Duas ou mais famílias de mercado  $\Leftrightarrow$  duas ou mais famílias de produção

**Tabela 21. Famílias de mercado vs. famílias de produção**

	1. FP1	2. FP2	...	n. FP <sub>n</sub>
1. FM1	X			
2. FM2		X		X
...				
n. FM <sub>n</sub>		X		

Neste sentido a metodologia procura famílias de produção primeiro nas famílias de mercado (FM), depois nos produtos compostos que compõem estas famílias e, finalmente, nos produtos simples. Particularmente importantes para formar estas famílias de produção são os processos principais e as operações genéricas pois se outros interesses não se sobrepuserem, como o de ter um sistema dedicado para um produto

específico de um cliente exigente, são estes que devem ditar o projecto do sistema de produção orientado ao produto.

Inicialmente deve-se avaliar a possibilidade de formar células básicas com as máquinas disponíveis e existentes na empresa. Esta avaliação consiste num procedimento de 2 passos. O primeiro passo, passo A21.1, é identificar as famílias de produção procurando-as de forma gradual: identificando as famílias de mercado e os respectivos processos principais, desagregando estes nas operações genéricas e as famílias em produtos compostos (PC). Neste passo são realizadas 5 tarefas. O segundo passo, passo A21.2, constituído por 4 tarefas, consiste em calcular as máquinas necessárias para cada família de produção.

### Exemplificação da actividade para a produção de 4 produtos compostos

Para simplificar a apresentação dos passos desta actividade, nesta secção recorre-se a um pequeno exemplo de produção de 4 produtos compostos que pertencem a 3 famílias de mercado e que passam por 3 processos principais. Os dados deste exemplo estão na Figura 27.

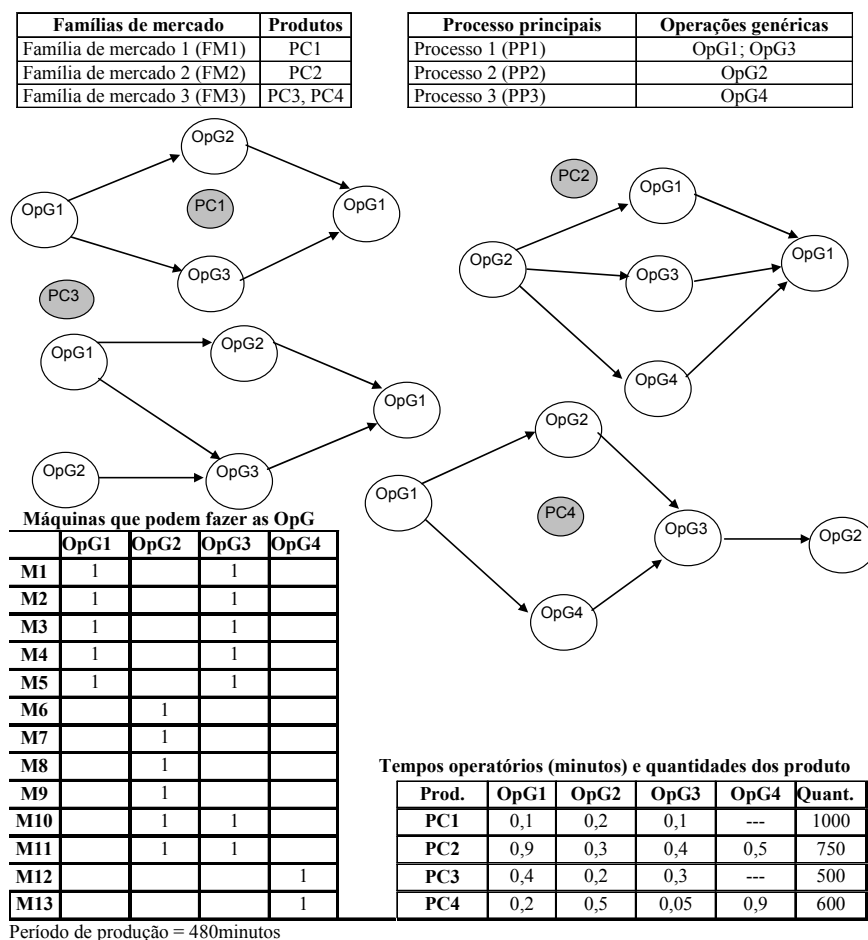


Figura 27. Dados para o exemplo de produção de 4 produtos

**Passo A21.1 – Identificar famílias de produção (FP)**

O passo A21.1 nesta actividade é a desagregação gradual de famílias de mercado em produtos compostos e os processos principais em operações genéricas. Assim começa-se por identificar através dos planos operatórios os processos principais das famílias de mercado.

A tarefa 1.1. consiste em identificar famílias de mercado (FM) e os processos principais (PP) das FM identificadas e a tarefa 1.2. consiste na representação desta informação numa matriz do tipo 0/1, Tabela 22.

**Tabela 22. Famílias de mercado e processos (matriz FMxPP)**

	PP1	PP2	PP3
FM1	1	1	
FM2	1	1	1
FM3	1	1	1

A procura das famílias de produção começa nesta tabela, identificando agrupamentos possíveis através de um algoritmo de agrupamento baseado em manipulação de matrizes ou outro algoritmo que use como entrada a matriz 0/1 como os algoritmos baseados em coeficientes de similaridade (Apêndice C). A identificação das similaridades de processamento é a tarefa 1.3.. Neste exemplo as FM com processamento similar similares já estão juntas na matriz (FM2 e FM3).

A procura continua através da desagregação de processos e famílias mas mantendo os agrupamentos realizados anteriormente. A desagregação a níveis inferiores de especificação, quer dos processos quer das próprias famílias de mercado acaba também por revelar se os agrupamentos realizados são realmente similares. Os processos são desagregados em planos operatórios constituídos por operações genéricas (OpG), já referidas na secção 5.1.2.2., tal como apresentado na Tabela 23.

**Tabela 23. Famílias de mercado e operações genéricas (matriz FMxOpG)**

	PP1		PP2	PP3
	OpG1	OpG3	OpG2	OpG4
FM1	1	1	1	
FM2	1	1	1	1
FM3	1	1	1	1

A tarefa 1.4. consiste na desagregação em operações genéricas e em verificar se as FM similares continuam similares ou se devem ser separadas. No exemplo a FM2 passa pelas mesmas operações genéricas que a FM3 pelo que existe a possibilidade de destas

duas famílias continuarem agrupadas. As linhas da matriz onde estão representadas estas famílias já estão juntas pelo que não é necessário nenhuma modificação à matriz para as juntar. Relativamente às colunas também não se torna necessário fazer qualquer modificação à matriz. Identificados alguns agrupamentos ou não, a procura continua, quer a partir dos agrupamentos efectuados quer a partir do conjunto das famílias de mercado.

As famílias de mercados são constituídas por produtos compostos e/ou simples. Em muitas empresas os produtos compostos são designados por modelos que podem ser constituídos por várias referências. **Modelos** são produtos compostos que fazem parte de uma família de mercado. Exemplos de modelos da família de mercado fatos de treino na indústria do vestuário são fatos com molas; fatos com fecho; fatos de Inverno; fatos de Verão e fatos de neve, da família de mercado calças são as calças de ganga e calças de fazenda. Uma **referência** representa um produto composto específico encomendado por um cliente, é portanto, uma instância de um modelo e traduz o produto final vendido ao cliente. Exemplos de referência diferentes são fato com molas com bordado à frente e fatos com molas sem bordado.

A desagregação das famílias de mercado em produtos compostos resulta na matriz da Tabela 24 e consiste na última tarefa (1.5.) do passo A21.1. Assim, nesta matriz aplica-se novamente um algoritmo de agrupamento. O exemplo usado é muito simples não se tornando necessário utilizar nenhum algoritmo identificando-se duas famílias de produção: o PC1 com o PC3 que se vai designar de FP1 e o PC2 com o PC4 que representa a FP2.

**Tabela 24. Produtos compostos e operações genéricas (matriz PCxOpG)**

		PP1		PP2	PP3
		OpG1	OpG3	OpG2	OpG4
FM1	PC1	1	1	1	
FM2	PC2	1	1	1	1
FM3	PC3	1	1	1	
	PC4	1	1	1	1

Se em vez dos produtos compostos se considerasse a desagregação em modelos e estes em referências ter-se-ia mais algumas tabelas antes de obter uma solução. Fazer a desagregação é importante pois mesmo que alguns agrupamentos tenham sido feitos, algumas referências anteriormente agregadas numa família de mercado podem revelar

um comportamento dissimilar dos restantes elementos do agrupamento e devem ser separadas.

A identificação de possíveis agrupamentos conduz a famílias de produção que podem ou não ser iguais às famílias de mercado. No exemplo apresentado as famílias de produção são diferentes das famílias de mercado. A formação de células básicas ou não básicas para estas famílias de produção vai depender muito da disponibilidade de equipamentos principais. Assim, a consideração dos agrupamentos realizados e o cálculo da carga por período para estes agrupamentos por equipamento principal é importante para decidir sobre células básicas ou não básicas.

Para o cálculo da carga agregada é necessário ter os tempos operatórios das operações genéricas dos produtos e as quantidades a produzir. Mas se existirem máquinas diferentes para processar uma operação existe mais do que um tempo operatório para a mesma operação. Torna-se portanto necessário adoptar um critério simples para escolher o tempo operatório da operação. Como nesta fase interessa apenas chegar a soluções viáveis de configuração conceptuais é suficiente considerar o tempo mais longo da operação. Não se considera o tempo mais curto porque seria subdimensionar o sistema criando a ilusão de que existiria condições para a criação de células básicas quando na realidade isso poderia não ser viável. Ao escolher o tempo mais longo também não existe a garantia de que as células básicas formadas nesta actividade continuam para a fase seguinte mas pelo menos fica acautelada a disponibilidade de equipamento, talvez em maior número do que o necessário o que permite ajustamentos posteriores ou, ainda durante a fase do projecto conceptual, ou mais tarde, no detalhado.

#### ***Passo A21.2 – Calcular as máquinas necessárias para as famílias***

O passo A21.2 consiste em calcular as máquinas necessárias para as famílias. A primeira tarefa (2.1.) deste passo é consultar e contabilizar a replicação das OpG do plano operatório da Figura 27 na matriz, introduzindo as OpG repetidas, Tabela 25.

**Tabela 25. Contabilização das operações genéricas dos planos operatórios**

	OpG1	OPG3	OpG2	OpG1	OpG4	OpG2
PC1	1	1	1	1		
PC3	1	1	1	1		1
PC2	1	1	1	1	1	
PC4	1	1	1		1	1

A tarefa 2.2. consiste em somar os “1” das colunas que se repetem (OpG repetidas) e reordenar as colunas (se necessário), Tabela 26.

**Tabela 26. Reorganização da matriz PCxOpG**

	OpG1	OpG2	OPG3	OpG4
PC1	2	1	1	
PC3	2	2	1	
PC2	2	1	1	1
PC4	1	2	1	1

Finalmente, na tarefa 2.3., calcula-se o número de máquinas necessárias (Nmaq.), baseado no período de produção de 480 minutos. Veja-se o cálculo para o exemplo na Tabela 27.

**Tabela 27. Cálculo do número de máquinas para as famílias de produção**

FP1	OpG1	OpG2	OpG3	OpG4	FP2	OpG1	OpG2	OpG3	OpG4
PC1	200	200	100	0	PC2	1350	225	300	375
PC3	400	200	150	0	PC4	120	600	30	540
Total	600	400	250	0	Total	1470	825	330	915
Nmaq.	1,25	0,83	0,52	0	Nmaq.	3,06	1,72	0,69	1,91
	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>		<b>4</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>

Na tarefa 2.4. faz-se uma primeira afectação de máquinas às famílias. O critério para começar a afectar máquinas poderá ser o de começar pela família que mais máquinas necessita, neste caso a FP2, com necessidade de 9 máquinas contra 4 da FP1. Usando-se a tabela das máquinas incluída no exemplo da Figura 27 coloca-se todos os “1” da tabela com “0” e afecta-se um “1” na célula da máquina que se pretende usar. Somam-se as linhas cujo resultado só pode ser “0” ou “1” (1 maquina só pode ser atribuída uma vez). Depois calculam-se as máquinas que sobram, colocando um “0” na coluna “Msobram” se a coluna “Σ” for igual a “1” ou “1” caso contrário, Tabela 28.

**Tabela 28. Afectação de máquinas à FP2**

	OpG1	OpG2	OpG3	OpG4	Σ	Msobram
FP2	4	2	1	2		
M1	1		0		1	0
M2	1		0		1	0
M3	1		0		1	0
M4	1		0		1	0
M5	0		0		0	1
M6		1			1	0
M7		1			1	0
M8		0			0	1
M9		0			0	1
M10		0	1		1	0
M11		0	0		0	1
M12				1	1	0
M13				1	1	0
Afectadas	4	2	1	2	9	4
Verificação	0	0	0	0	0	Célula completa

De seguida e para a afectação das máquinas à FP1, toma-se a matriz anterior construída para a FP2 e afecta-se um “1” nas células das máquinas que se pretendem e que estão livres. Depois calcula-se o valor das colunas restantes, soma-se os valores para as colunas “Total” e calcula-se a subtracção do “Total” e das máquinas necessárias para as duas famílias para verificar se existem falta de máquinas e, finalmente, conclui-se sobre a configuração das células, Tabela 29.

Neste exemplo pode concluir-se que falta uma máquina para a OpG1 da FP1 mas como a capacidade disponível na OpG1 ( $4 - 3,06 = 0,94$ ) da FP2 é suficiente para satisfazer o que falta à OpG1 da FP1 ( $1 - 1,25 = -0,25$ ) vão ser formadas 2 células não básicas (CNB) para partilha de uma máquina que faça a OpG1.

Nesta fase deve-se formar tantas células básicas quantos os equipamentos permitir ainda que na fase seguinte esta decisão venha a ser alterada. Em relação ao exemplo nenhuma, aparentemente, pode ser formada.

**Tabela 29. Afectação de máquinas à FP1**

	OpG1	OpG2	OpG3	OpG4		
<b>FP1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	$\Sigma$	Msobram
M1	1		0		1	0
M2	1		0		1	0
M3	1		0		1	0
M4	1		0		1	0
M5	1		0		1	0
M6		1			1	0
M7		1			1	0
M8		1			1	0
M9		0			0	1
M10		0	1		1	0
M11		0	1		1	0
M12				1	1	0
M13				1	1	0
<b>Afectadas</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>		
Total	5	3	2	2	<b>12</b>	
<b>Verificação</b>	<b>-1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>		<b>Falta 1 máquina</b>

A actividade de selecção da configuração conceptual termina com as configurações conceptuais de células para as famílias de produção. Para concluir, no exemplo obtém-se duas células não básicas ou partilhadas, Figura 28, para produzir os 4 produtos compostos.

Nesta fase interessa formar todas as células conceptuais possíveis sejam estas para os produtos compostos ou para os produtos simples, tendo por base as operações genéricas, instanciando ao nível do Projecto Detalhado as operações genéricas em operações de



processamento. Assim, todos os passos até aqui realizados para chegar às células conceptuais para as famílias FP1 e FP2 são repetidos para produtos simples para formar as células conceptuais ao nível das operações genéricas.

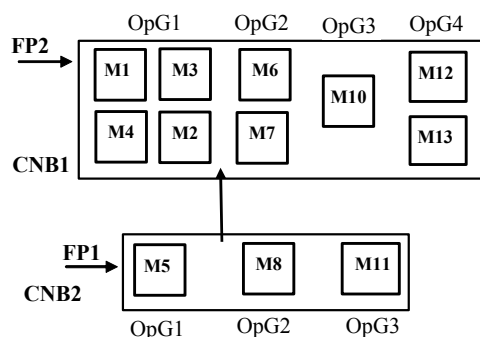


Figura 28. Células conceptuais para as famílias FP2 e FP1

No entanto, podem existir casos em que as famílias formadas não se alteram nem desagregando as operações nem decompondo os produtos compostos. É o caso da indústria do vestuário onde a desagregação das operações não acrescenta nada às famílias formadas de produtos compostos porque cada uma das operações genéricas é realizada na mesma máquina como se verificou no caso estudado (Silva e Alves, 2003). Por exemplo, a operação de corte e cose que se desagrega em várias operações: coser punhos, coser manga ou coser lados são sempre realizadas na máquina de corte e cose. A decomposição do produto composto significa, na maioria das peças de vestuário, decompor o produto em peças cortadas provenientes do mesmo processo. Claro que noutro tipo de indústria, por exemplo, metalomêcnica, os produtos simples, geralmente peças, passam por diferentes operações.

Para exemplificar a obtenção de famílias de produção de produtos simples com base nas operações genéricas estende-se o exemplo dado decompondo os produtos compostos em simples. Assim, considere-se que os 4 produtos compostos do exemplo são constituídos por 8 produtos simples (PS1..PS8) fabricados na empresa segundo as listas de materiais representadas nas árvores invertidas da Figura 29.

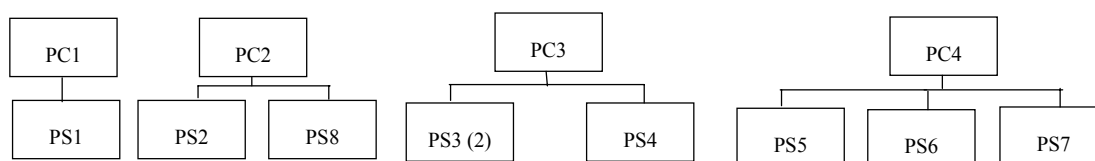


Figura 29. Lista de materiais dos produtos compostos

Sem entrar em considerações sobre os planos operatórios dos produtos simples, considere-se que estes passam pelas operações genéricas OpG5, OpG6, OpG7 e OpG8 apresentadas na Tabela 30.

**Tabela 30. Produtos simples e operações genéricas (matriz PSxOpG) e famílias**

	OpG5	OpG6	OpG7	OpG8
PS1	1	1		1
PS2	1	1		1
PS3	1	1	1	
PS4	1	1	1	
PS5	1	1		
PS6	1	1		
PS7	1	1	1	
PS8	1	1		

	OpG5	OpG6	OpG7	OpG8
PS1	1	1		1
PS2	1	1		1
PS3	1	1	1	
PS4	1	1	1	
PS7	1	1	1	
PS5	1	1		
PS6	1	1		
PS8	1	1		

Como a matriz é simples consegue-se visualizar os produtos similares que formam 3 famílias: uma com o PS1 e o PS2, outra com o PS3, PS4 e PS7, outra família constituída pelo PS5, PS6 e PS8.

Na fase do Projecto Detalhado dá-se continuidade a este exemplo considerando a desagregação das operações genéricas em operações de processamento que se distinguem pelo tempo que demoram a executar e pela designação específica, secção 5.1.2.2..

Finalmente, levando esta informação das configurações seleccionadas e das famílias de produção segue-se para a actividade de selecção de postos de trabalho (A22).

### 5.2.2. Selecção de postos de trabalho (A22)

As configurações dos postos de trabalho apresentadas na Figura 9 e Tabela 3 traduzem graus de flexibilização diferentes e características diferentes dos postos de trabalho que resultam das necessidades de recursos para as operações genéricas.

Os postos podem ser seleccionados identificando qual ou quais e quantos processadores e recursos são necessários. Por exemplo, supondo um sistema muito simples com duas máquinas, dois operadores e duas operações, Tabela 31, no mínimo tem-se 8 situações que correspondem às configurações de postos apresentadas na Tabela 3.

Se uma operação for processada apenas numa máquina, isto é, a máquina é automática então o posto seleccionado é um posto de trabalho de processador único, recurso único e função única (situação 1). Se uma operação é realizada apenas por um operador é uma

operação manual e, portanto, também processador único, recurso único e função única (situação 1).

**Tabela 31. Caracterização das situações relativamente às configuração de postos**

Situação	Máquina $m_i$	Máquina $m_j$	Operador $o_i$	Operador $o_j$	Operação $opi$	Operação $opj$	Posto	
1	X				X		Único	UUU
2	X	X			X		Paralelo	MUU
3	X		X		X		Multirecurso	UMU
4	X				X	X	Multifunção	UUM
5	X		X		X	X	Multirecurso +multifunção	UMM
6	X	X			X	X	Paralelo + multifunção	MUM
7	X	X	X	X	X		Paralelo+ mutirecurso	MMU
8	X	X	X	X	X	X	Paralelo + multirecurso +multifunção	MMM

A situação 2 contempla a situação de posto de trabalho com processadores paralelos que resulta da utilização de vários processadores capazes de desempenharem o mesmo tipo de operações e que se justificam pelas necessidades de capacidade produtiva ou de dimensões do produto (Sengupta e Jacobs, 2004). Por exemplo, a montagem de uma porta numa entrada requer vários operadores porque a unidade de produto é muito grande e permite a simultaneidade.

Se uma operação para ser realizada necessita de uma máquina e um operador então deve ser seleccionado um posto multirecurso, por exemplo, as máquinas de costura que requerem sempre um operador (situação 3).

Para classificar um posto como de multifunção é necessário que, pelo menos, duas operações diferentes sejam realizadas por uma mesma máquina ou por um mesmo operador (operador polivalente) – situação 4.

No mesmo SPOP podem coexistir ainda diferentes combinações das configurações (situações 5, 6, 7 e 8) relativamente ao número de processadores, recursos e funções nos postos de trabalho, dependendo apenas das necessidades operatórias das operações.

### **Exemplificação da actividade do cálculo de operadores e selecção de postos**

Usando os resultados do exemplo da actividade anterior e supondo que as máquinas requerem sempre o operador, faz-se o cálculo do número de operadores, atendendo a um desempenho de 90% e no período de produção de 480 minutos, para as células

CNB1 e CNB2 que ficam com 9, Tabela 32, e 3 operadores, Tabela 33, respectivamente. Nesta actividade conclui-se que são necessários para as células 12 operadores, número este que deve ser comparado com o número de operadores disponíveis para identificar se existem os necessários.

**Tabela 32. Cálculo do número de operadores para a FP2**

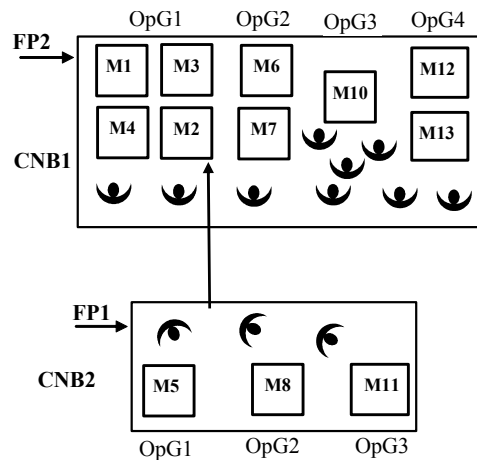
FP2	OpG1	OpG2	OpG4	OpG3	Tproc	Quant.	Carga
PC2	1,8	0,3	0,5	0,4	3	750	2250
PC4	0,2	1	0,9	0,05	2,15	600	1290
<b>CNB1</b>					Total	1350	3540
					<b>NOperadores</b>	8,2	9

**Tabela 33. Cálculo do número de operadores para a FP1**

FP1	OpG1	OpG2	OpG3	Tproc	Quant.	Carga
PC1	0,2	0,2	0,1	0,5	1000	500
PC3	0,8	0,4	0,3	1,5	500	750
<b>CNB2</b>				Total	1500	1250
				<b>NOperadores</b>	2,9	3

Os postos de trabalho serão do tipo multirecurso, tendo alguns postos paralelos também devido às 4 máquinas que fazem a OpG1, correspondendo à situação 7.

Na fase do Projecto Detalhado são calculados os postos de trabalho necessários afectando também os operadores a esses postos que podem para já ficar colocados nas células sem qualquer afectação ou distribuição, Figura 30.



**Figura 30. Operadores para as células formadas**

Estes resultados, nomeadamente, as máquinas afectadas e não afectadas e o número de operadores entram na actividade anterior para se for necessário alterar as decisões. No entanto, estes resultados são mais importantes para ajudar na selecção da célula operacional na fase seguinte do Projecto Detalhado. Por exemplo, a existência de postos com processadores multifunção pode indicar a selecção de uma célula de produção flexível (CPF), i.e., com máquinas multifuncionais.

Ficam por explorar nesta fase do Projecto Conceptual muitas alternativas permitidas pelas possibilidades de algumas máquinas fazerem mais do que uma operação podendo

agregar-se alguns dos postos anteriores e fica ainda por verificar se as valências dos operadores são as necessárias. Estes e outros problemas serão explorados na fase do Projecto Detalhado em diferentes actividades sendo uma delas a selecção e instanciação das células conceptuais seleccionadas.

Nesta fase da metodologia pode chegar-se a resultados aparentemente indesejáveis, como, por exemplo, a necessidade de aquisição de máquinas para evitar a partilha das células ou a necessidade de mais operadores. Perante tal situação devem explorar-se várias alternativas, tais como: a de redefinir as famílias, por exemplo, agregando-as fazendo uma família maior. Pode-se ainda na fase seguinte, procurar solucionar este problema uma vez que a instanciação de células conceptuais ou outra actividade podem conduzir a resultados que resolvem o problema de forma satisfatória.

### **5.3. PROJECTO DETALHADO (A3)**

A terceira fase da metodologia, Projecto Detalhado, publicada em Carmo-Silva e Alves(2006), decompõe-se em 5 actividades, Figura 31: A31 - formação das famílias de produtos; A32 - instanciação das células conceptuais; A33 - instanciação de postos de trabalho; A34 - organização intracelular e controlo de cada célula e A35 - arranjo integrado das células para a formação do sistema SPOP global, incluindo coordenação e controlo de produção e do fluxo intercelular de materiais.

Em geral, praticamente todas as actividades do Projecto Detalhado realizam-se de forma iterativa e inter-relacionada devido à forte dependência entre elas tornando-se necessário ajustar resultados que se vão obtendo. Estas actividades dividem-se, ainda, em várias tarefas descritas oportunamente.

#### **5.3.1. Formação de famílias de produtos (A31)**

A formação de famílias correspondente à actividade A31 pode ver-se ao nível de produtos finais ou intermédios, ditos compostos quando resultam de montagem ou união, e ao nível de produtos simples, referidos como peças.

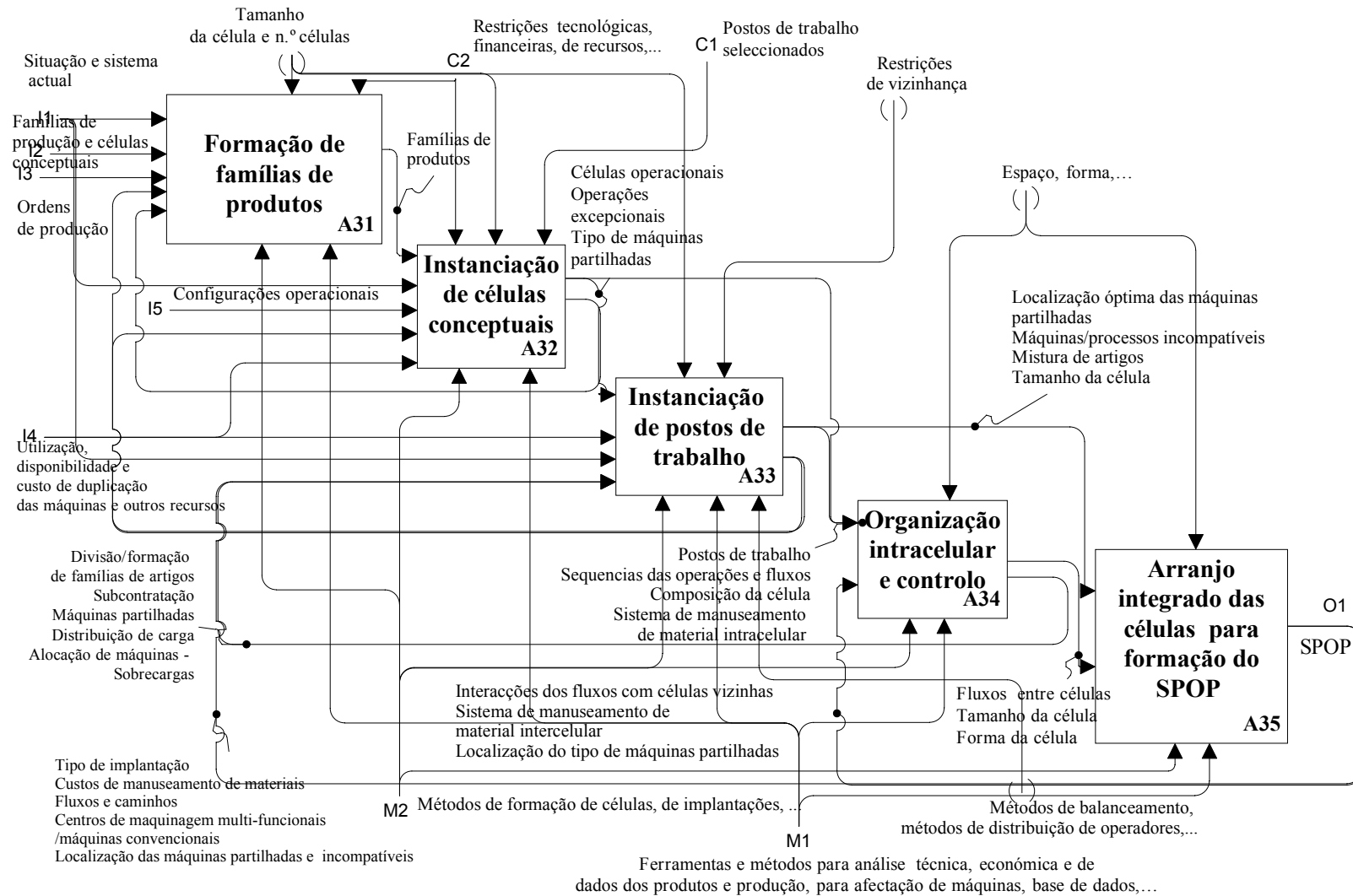


Figura 31. Projecto Detalhado

A formação de famílias com vista à formação de SPOP pode ser uma actividade complexa. Quando as quantidades do produto justificam, uma célula ou sistema pode ser dedicado a um único produto, não sendo necessário tratar a problemática de formação de famílias. No caso em que se procura misturar artigos no mesmo sistema a formação de famílias pode ser uma necessidade. Em tal situação, para análise de similaridade e formação de famílias, é necessário considerar diversas características ou atributos dos produtos. Uns, por vezes referidos como de projecto, relacionados com a forma, natureza e configuração física e geométrica dos elementos a agrupar em famílias, e outros relacionados com aspectos de produção e outros ainda de índole operacional e administrativa e mesmo de mercado.

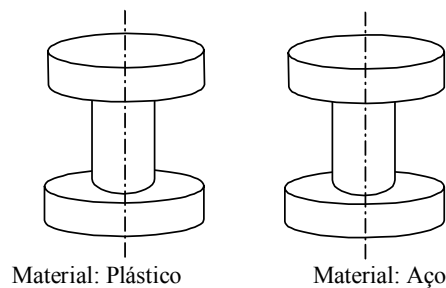
No seu conjunto poderá ser necessário considerar, por exemplo: a forma, a geometria, o tamanho, o peso, a matéria prima, o processo de fabrico, a sequência de operações, as ferramentas utilizadas, as tolerâncias de fabrico, os componentes semelhantes em produtos diferentes, o tamanho do lote e as quantidades totais, a qualidade, a expedição e serviço ao cliente. Estes aspectos e características são utilizados por métodos diversos de formação de famílias de produtos com vista à sua produção conjunta ou integrada no mesmo sistema ou célula de produção.

No apêndice C apresenta-se uma revisão de alguns métodos que resolvem as actividades de formação de famílias de peças e/ou agrupamento das máquinas, relevantes à actividade A31, além de outros métodos de apoio à resolução de outras actividades do Projecto Detalhado.

Enquanto que a formação de famílias de produtos e seus componentes baseada nos atributos de projecto possibilita o suporte de novas peças através de desenhos existentes e da normalização, conceito introduzido na secção 3.2.1., e evita a proliferação desnecessária de variedade de componentes, a formação baseada nos atributos de produção possibilita a redução dos tempos de preparação, a normalização dos planos de processo, a melhoria do fluxo de produção, entre outros. Isto significa que os aspectos a considerar na formação das famílias dependem, muitas vezes, dos objectivos a atingir, ainda que, neste trabalho o objectivo esteja claro: formação de Sistemas de Produção Orientados ao Produto.

Uma família formada a partir das características de projecto da peça pode, em muitos casos, ser homogénea sob o ponto de vista da sua produção integrada, i.e. fazer parte da

mesma família de produção. Casos há em que tal não acontece, sendo necessário considerar outros atributos complementares, principalmente relacionados com a produção. Um exemplo é dado na Figura 32, adaptada de Rembold et al. (1985), em que sendo as peças iguais e os materiais diferentes, processos de fabrico diferentes poderão ser necessários incompatibilizando a inclusão das peças na mesma família de fabrico, embora, pudessem ser incluídas na mesma família de montagem de produtos de que fizessem parte.



**Figura 32. Peças com forma idêntica e processos de fabrico diferentes**

Propôs-se na fase de Projecto Conceptual um processo ou procedimento de formação de famílias baseado numa evolução de famílias de mercado para famílias de produção geradas a partir de operações genéricas e meios de produção disponíveis. As famílias formadas a nível do Projecto Conceptual necessitam de refinamento a levar a cabo nesta fase de Projecto Detalhado. Este refinamento é conseguido à custa do desdobramento ou desagregação das operações genéricas em operações de processamento quer para as famílias de produtos compostos quer para as famílias de produtos simples e à utilização de métodos de agrupamento desenvolvidos por diversos autores para a formação de famílias. Um exemplo deste processo é indicado a seguir.

#### **Exemplificação da actividade para produtos simples com operações de processamento**

Considere-se que as operações genéricas dos produtos simples apresentados na Figura 29 do exemplo apresentado na fase do Projecto Conceptual se desagregam em operações de processamento (OpP) como se apresenta na Tabela 34.



**Tabela 34. Desagregação das operações genéricas dos produtos simples**

	OpG5		OpG6		OpG7	OpG8
	OpP51	OpP52	OpP61	OpP62	OpP71	OpP81
PS1	1		1			1
PS2	1		1			1
PS3		1	1		1	
PS4		1		1	1	
PS7		1		1	1	
PS5	1		1			
PS6		1	1			
PS8	1		1	1		

Esta desagregação resulta numa nova matriz a que se pode aplicar um algoritmo de agrupamento. Neste caso aplicou-se um algoritmo baseado em coeficientes similares, o *Single Clustering Linkage* (Apêndice C) obtendo-se várias soluções de composição de famílias optando-se pela solução apresentada na Tabela 35. Supõe-se que não existem nenhuma restrições ao tamanho da célula, i.e. ao número de máquinas ou ao número de células a formar que como se sabe podem restringir a escolha das soluções de famílias.

**Tabela 35. Famílias de produtos simples com base nas operações de processamento**

	OpP51	OpP61	OpP81	OpP62	OpP52	OpP71
PS1	1	1	1			
PS2	1	1	1			
PS5	1	1				
PS8	1	1		1		
PS3		1			1	1
PS6		1			1	
PS4				1	1	1
PS7				1	1	1

Nesta solução tem-se duas famílias de produtos simples:  $FPS1 = \{PS1, PS2, PS5, PS8\}$  e  $FPS2 = \{PS3, PS6, PS4, PS7\}$  com necessidade de replicação do equipamento que faz as operações OpP61 e OpP62 para evitar o movimento intercelular dos produtos PS3, PS6 e PS8 e partilha das células. Para averiguar desta necessidade deve-se desagregar os tempos operatórios das operações genéricas em tempos de referência das operações específicas de processamento para calcular o número de máquinas, algo a ser feito nas actividades seguintes.

### 5.3.2. Instanciação das células conceptuais (A32)

A instanciação das células conceptuais - A32 - procura seleccionar a configuração operacional mais adequada para as células conceptuais. Antes desta selecção, define-se os fluxos para as células conceptuais dos produtos compostos, ainda não definidos, e recalcula-se as máquinas necessárias para cada célula atendendo a estes fluxos. Para as

famílias formadas na actividade anterior – A31, as famílias de produtos simples, calculam-se as máquinas e define-se os fluxos.

Isto implica ter um conhecimento sobre os produtos, seus tempos operatórios e quantidades a produzir e a utilização planeada dos equipamentos, disponibilidade e custo de duplicação de máquinas e outras informações também relevantes já introduzidas noutras fases tais como o período de produção, a capacidade total de máquinas e os turnos de produção. A disponibilidade destas informações permite determinar o equipamento disponível e equipamento necessário e as necessidades de aquisição de máquinas para evitar partilha e, conseqüentemente, fluxos intercelulares.

Para instanciar as células conceptuais é necessário realizar um procedimento constituído por 4 passos:

A32.1 - Cálculo de máquinas e afectação destas às famílias

A32.2 - Identificar a existência ou não de fluxos intercelulares

A32.3 - Definir os fluxos para as células conceptuais

A32.4 - Seleccionar a configuração operacional

Para as famílias formadas na actividade A21 já foram calculadas as máquinas necessárias, fazendo-se aqui ajustes, se necessário. Para as famílias de produtos simples formadas na actividade anterior – A31 – faz-se este cálculo.

No segundo passo a partir das células conceptuais formadas identificam-se fluxos intercelulares e tenta-se reduzi-los ou eliminá-los pois o objectivo é formar células independentes, i.e., básicas, secção 3.3.1.. Assim, se existir fluxo intercelular várias alternativas podem ser tentadas, por exemplo, agregar as duas células, replicar as máquinas que estão na origem deste fluxo, rever as sequências dos produtos que originaram este fluxo, designados de elementos excepcionais, ou ainda seleccionar máquinas alternativas equivalentes. A revisão das sequências pode permitir verificar se as operações são mesmo necessárias ou se podem ser eliminadas, se estas podem ser processadas nas máquinas já existentes na célula. Pode-se ainda tentar reprojectar os produtos que originaram o fluxo intercelular de forma a eliminar as operações excepcionais. No apêndice B (secção B.3.3.) listam-se algumas soluções para eliminar a partilha de máquinas apresentadas em Arvindh e Irani (1994).

A replicação das máquinas é possível se estas existirem disponíveis para aquisição. Assim calcula-se o custo de aquisição e compara-se com o valor do orçamento previsto

para este fim (se existir). Existindo o capital necessário faz-se a aquisição, se não existir nenhuma restrição quanto ao tamanho da célula. Também pode ser possível recorrer à subcontratação ou localizar máquinas disponíveis noutras fontes, calculando os custos de subcontratação ou deslocação. Tentadas as medidas possíveis, se os fluxos intercelulares persistirem a partilha de máquinas entre as células poderá ser inevitável.

No terceiro passo define-se os fluxos intracelulares podendo usar-se o conceito de sequência fictícia (Valle, 1975, apêndice B) com vista à formação de células de fluxo directo. Recalcula-se o número de máquinas para atender a esta sequência e compara-se com as máquinas disponíveis. Se estas não forem suficientes, o procedimento a seguir é semelhante iniciando-se também pela revisão das sequências e verificando se as máquinas já afectadas à célula podem fazer a operação que está a provocar o fluxo inverso.

Finalmente, o quarto e último passo consiste em representar as células com os fluxos, fazendo um primeiro esboço destas, seleccionando a configuração operacional mais adequada.

A Figura 33 reflecte o procedimento seguido que finaliza quando são apontadas configurações operacionais adequadas. Nesta figura apenas são considerados dois critérios: o da revisão das sequências e o de custos de replicação de máquinas. Não existindo as unidades necessárias dentro da empresa podem sempre existir fora dela e se existir um orçamento para a sua aquisição o procedimento é simples calcula-se o montante necessário para o investimento e compara-se com esse limite orçamental. Se não existirem unidades de equipamento suficiente nem capital para comprar novos então deve-se optar pelas células não básicas (partilhadas) e células com fluxos inversos, escolhendo as configurações operacionais que o permitem.

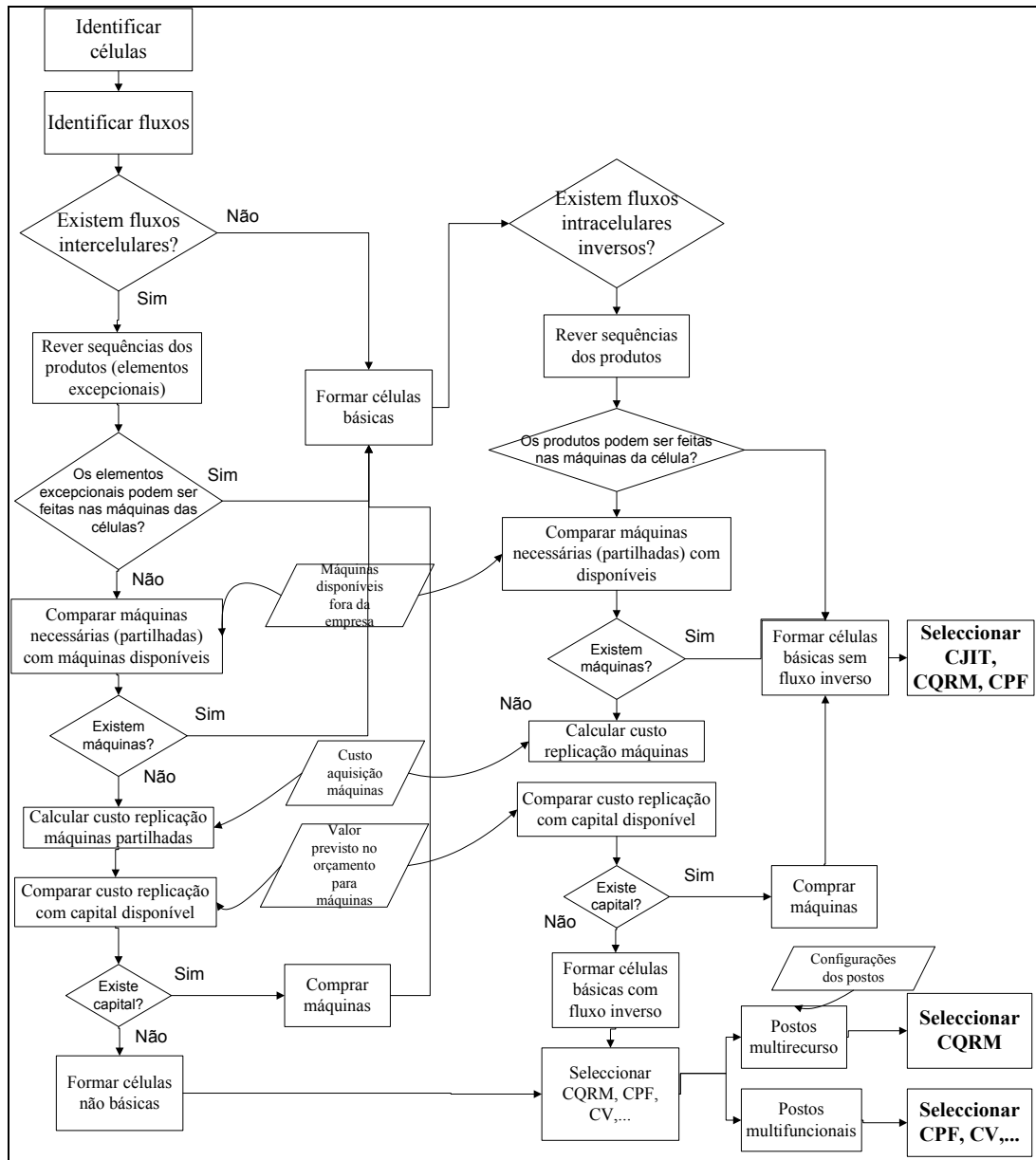


Figura 33. Procedimento para seleccionar a configuração operacional

A indicação das configurações operacionais da Figura 33 apoiou-se na Tabela 36 que derivou da Tabela 4 com a inclusão das células virtuais.

Tabela 36. Fluxos de trabalho presentes nas configurações operacionais

		Configurações conceptuais	Configurações operacionais			
			CJIT	CQRM	CPF	CV
<b>BÁSICAS</b>	Célula de Posto Único		--	--	✓✓	✓
	Célula de Fluxo Directo		✓✓	✓✓	✓✓	--
	Célula de Fluxo Directo c/ Transposição		✓✓	✓✓	✓✓	--
	Célula de Fluxo Inverso		--	✓	✓✓	✓
<b>NÃO BÁSICAS</b>	Célula Partilhada de Posto Único		--	--	✓	✓
	Célula Partilhada de Fluxo Directo		--	✓✓	✓	--
	Célula Partilhada de Fluxo Directo c/ Transposição		--	✓✓	✓	--
	Célula Partilhada de Fluxo Inverso		--	✓	✓	✓

✓✓: preferido; ✓: aceitável; --: não recomendado

Identificado o tipo de fluxo nas células formadas, a selecção por uma das configurações fica facilitada ou é conclusiva, pois a não existência de fluxo intracelular, i.e. células de postos único conduz à preferência pela célula CPF. Para apoiar esta escolha, deve-se ainda usar as características e objectivos que diferenciam as configurações operacionais. Estas características diferenciadoras podem ser usadas como factores de avaliação no método de análise pesada de factores (WFA) para seleccionar a configuração adequada, Tabela 37.

**Tabela 37. Quantificação dos factores face às configurações operacionais**

<b>Factores de avaliação</b>	<b>Peso</b>	<b>CJIT</b>	<b>CQRM</b>	<b>CPF</b>	<b>VC</b>
Fluxos directos		5	4	2	1
Taxa de produção		4	3	3	2
Variedade de produtos		4	4	3	5
Manuseamento manual		5	4	2	3
Economias de tempos de espera		4	3	3	3
Tempos de preparação		5	2	3	1
Envolvimento dos operadores		5	4	2	3
Polivalência		5	4	2	1
Facilidade de reconfiguração		4	3	2	5
Transferência unitária de peças entre postos		4	3	4	2
Automatização		2	2	5	2

Novamente, a configuração indicada deve ser confrontada com as soluções obtidas em termos das células formadas para proceder a avaliações e verificar a viabilidade ou não de adoptar a configuração operacional obtida. Por exemplo, a existência de fluxos inversos pode impossibilitar a opção pela CJIT mas pode-se optar pelas outras: CQRM ou CPF. Escolher entre configuração CQRM ou configuração CPF exige ainda outras informações como o posto de trabalho seleccionado. Esta é pertinente nesta tomada de decisão já que a CPF normalmente é caracterizada por postos de trabalho multifuncionais tais como centros de maquinaria multifunção e máquinas CNC. Se os postos de trabalho são postos de trabalho com processadores multirecursos sendo o operador necessário durante a operação e as máquinas fáceis de manusear, a melhor opção seria pela CQRM.

A selecção de outras configurações operacionais não mencionadas como as células virtuais também pode aqui ser realizada baseada em características como a mobilidade ou não do equipamento, os custos associados a esta mobilidade e a automatização do sistema. A mobilidade do equipamento pode evitar a necessidade de células virtuais pois esta mobilidade significa que as máquinas podem ser movimentadas para obter um

novo arranjo físico quando o custo de movimentação e reposicionamento seja reduzido quando comparado com outros benefícios.

### **Exemplificação da actividade A32 usando as células conceptuais formadas na actividade A21**

Retomando o exemplo da Figura 27 verificou-se que na primeira iteração para formar as famílias e, conseqüentemente, criar configurações conceptuais de células na actividade A21, criaram-se duas células, com fluxo intercelular sendo este fluxo no sentido CNB2, com 3 máquinas, para a CNB1, com 9 máquinas, para partilha das máquinas que fazem as operações OpG1, Figura 28. Supondo que não se conseguiu eliminar os fluxos intercelulares, segue-se para o passo A32.3 que é aquele que se pretende exemplificar.

#### ***Passo A32.3 - Definir os fluxos para as células conceptuais***

Começa-se por analisar as precedências das operações genéricas para indicar o fluxo de trabalho das células conceptuais: fluxo directo, com ou sem transposição e fluxo inverso. Para isso, listam-se os planos sequenciais possíveis para cada PC a partir dos planos operatórios. Os planos sequenciais da FP1 estão na Tabela 38.

**Tabela 38. Planos sequenciais possíveis para a FP1**

PC1	OpG1→OpG2→OpG3→OpG1
	OpG1→OpG3→OpG2→OpG1
PC3	OpG1→OpG2→OpG3→OpG2→OpG1
	OpG2→OpG1→OpG3→OpG2→OpG1
	OpG2→OpG1→OpG2→OpG3→OpG1

Os planos sequenciais da FP2 apresentam-se na Tabela 39.

**Tabela 39. Planos sequenciais possíveis para a FP2**

PC2	OpG2→OpG1→OpG3→OpG4→OpG1
	OpG2→OpG1→OpG4→OpG3→OpG1
	OpG2→OpG3→OpG1→OpG4→OpG1
	OpG2→OpG3→OpG4→OpG1→OpG1
	OpG2→OpG4→OpG3→OpG1→OpG1
	OpG2→OpG4→OpG1→OpG3→OpG1
PC4	OpG1→OpG2→OpG4→OpG3→OpG2
	OpG1→OpG4→OpG2→OpG3→OpG2

Destes planos escolhe-se aquele que favorece mais o fluxo directo para os 2 produtos, construindo a sequência fictícia para cada família de produção. As sequências fictícias da FP1 e de FP2, são:

FP1: OpG1→OpG2→OpG3→OpG2→OpG1

FP2: é OpG1→OpG2→OpG4→OpG3→OpG2→OpG1.

O fluxo directo das células só será conseguido se existirem máquinas para o concretizar portanto torna-se agora necessário calcular o número de máquinas considerando as sequências fictícias encontradas. Este cálculo apresenta-se na Tabela 40 para a FP2 e na Tabela 41 para a FP1.

**Tabela 40. Cálculo do número de máquinas para a sequência fictícia da FP2**

Tempos operatórios						
FP2	OpG1	OpG2	OpG4	OpG3	OpG2	OpG1
PC2	-----	0,3	0,5	0,4	-----	2*0,9
PC4	0,2	0,5	0,9	0,05	0,5	-----
Carga						
PC2	-----	225	375	300	-----	1350
PC4	120	300	540	30	300	-----
	120	525	915	330	300	1350
Número de máquinas necessárias						
	0,25	1,09	1,91	0,69	0,63	2,81
	1	2	2	1	1	3
M1	1					
M2						1
M3						1
M4						1
M6		1				
M7		1				
M10				1		
M12			1			
M13			1			
Σ	1	2	2	1	0	3
Dfç	0	0	0	0	1	0
M9					1	
Falta					0	

Para ter fluxos directos é necessário ter mais uma máquina para a OpG2; como ainda existe uma máquina M9 que faz OpG2 afecta-se esta máquina a esta família- FP2. Assim forma-se uma célula de fluxo directo com transposição (CFDT).

A distribuição da carga resultante destas sequências permite verificar que a M1 pertencente à célula CNB1 da FP2 fica menos carregada, apenas PC4 requer esta máquina do que a M5 da CNB2 da FP1. Desta forma, faz mais sentido que a M1 seja deslocada para a CNB2 e a partilha seja realizada nesta célula havendo assim um menor movimento intercelular (1000 do PC1 mais 500 do PC3 contra 600 do PC4).

Tabela 41. Cálculo do número de máquinas para a sequência fictícia da FP1

Tempos operatórios					
FP1	OpG1	OpG2	OpG3	OpG2	OpG1
PC1	0,1	0,2	0,1	-----	0,1
PC3	0,4	0,2	0,3	0,2	0,4
Carga					
PC1	100	200	100	----	100
PC3	200	100	150	100	200
	300	300	250	100	300
Número de máquinas necessárias					
	0,63	0,63	0,52	0,21	0,63
	1	1	1	1	1
M5					1
M8		1			
M11			1		
$\Sigma$	1	1	1	0	0
Dfç	0	0	0	1	1
Falta				1	1

A colocação da M1 na célula CNB2 também permite que a M5 seja colocada no final da sequência da CNB1 da FP2 evitando fluxo inverso resultante da OpG1. No entanto, não se consegue evitar totalmente o fluxo inverso nesta célula porque não existem máquinas suficientes para a operação OpG2 no sentido de obter a sequência fictícia, obrigando a que haja fluxo inverso para a máquina M8.

**Passo A32.4 - Seleccionar a configuração operacional**

Conclui-se do passo anterior que a célula partilhada (CNB1) para a FP2 tem fluxo directo com transposição e a célula (CNB2) para a FP1 tem fluxo inverso, como representadas na Figura 34.

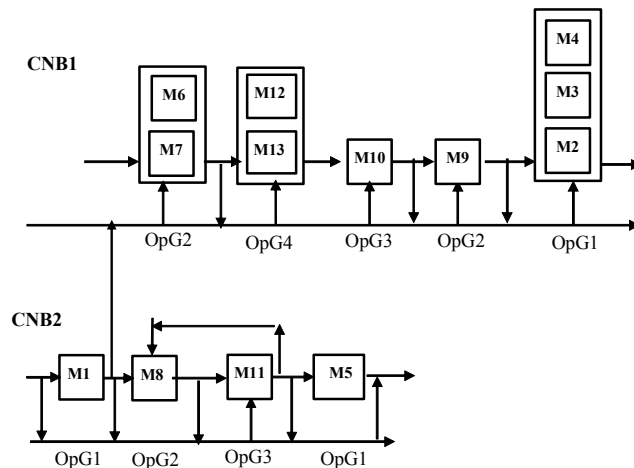


Figura 34. Células para as famílias FP2 e FP1 com representação dos fluxos



Como as duas células são não básicas a opção para a configuração operacional mais adequada parece ser a CQRM, Figura 33, pois os postos são multirecursos. No entanto, a CNB1, embora partilhada, recebe apenas o PC4 que é quase como se viesse de um armazém ou outra célula não perturbando o fluxo. Assim, ter como opção a CJIT não parece ser uma opção a ser posta de lado pois esta célula não tem fluxos inversos.

Uma análise mais detalhada às operações da CNB2 permite verificar que a M11 pode fazer as operações OpG2 e OpG3, como só está a fazer OpG3 e tem muita folga, pode fazer a OpG2 pois a carga das duas operações (0,52+0,21) não excedem uma máquina e assim o trabalho não necessita de voltar à M8, evitando-se, desta forma, o fluxo inverso.

### Exemplificação para as famílias de produtos simples

Para as famílias de produtos simples formadas na actividade anterior começa-se por utilizar o procedimento da actividade A21, passo A21.2 para cálculo das máquinas necessárias para cada uma das operações de processamento. Considere-se que as máquinas disponíveis para cada uma das operações de processamento estão na Tabela 42. Na Tabela 43 estão os planos sequenciais e as quantidades a produzir dos produtos.

**Tabela 42. Máquinas para as operações de processamento**

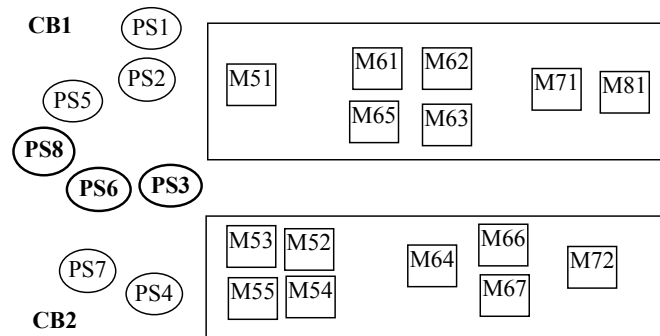
	OpP51	OpP52	OpP61	OpP62	OpP71	OpP81
M51	1	1				
M52	1	1				
M53		1				
M54	1	1				
M55		1				
M61			1	1		
M62			1	1		
M63			1	1		
M64			1	1		
M65			1			
M66				1		
M67				1		
M71					1	
M72					1	
M81						1

**Tabela 43. Planos sequenciais das operações e quantidades dos produtos**

Produtos simples	Planos sequenciais (tempos operatórios em minutos)	Quantidade
PS1	OpP51(0,2)→OpP61(0,1)→OpP71(0,4)→OpP61(0,1)	1000
PS2	OpP51(0,1)→OpP61 (0,2)→ OpP81 (0,2)	750
PS3	OpP52 (0,275)→ OpP61 (0,1)→ OpP71 (0,2)→ OpP52 (0,275)	1000
PS4	OpP52 (0,7)→OpP62(0,6)→OpP71(0,35)	500
PS5	OpP51 (0,1)→ OpP61 (0,1)→ OpP51 (0,1)	600
PS6	OpP52 (0,5)→ OpP61 (0,4)	600
PS7	OpP52 (0,6)→ OpP62 (0,45)→ OpP71 (0,1)	600
PS8	OpP51 (0,05)→ OpP61 (0,15)→ OpP62 (0,8)	750

**Passo A32.1. – Calcular máquinas para as famílias formadas**

Usado o procedimento descrito nesta actividade, verificou-se que são necessárias 7 e 8 máquinas, supondo que os tempos operatórios das operações são iguais para todas as máquinas, para as famílias FPS1 e FPS2, respectivamente, e a afectação das máquinas produziu as células conceptuais básicas da Figura 35. Os cálculos, realizados numa folha excel, foram omitidos pois o procedimento já foi apresentado.



**Figura 35. Células para as famílias dos produtos simples**

**Passo A32.2 - Identificar a existência ou não de fluxos intercelulares**

Os produtos PS8, PS6 e PS3 destacados na figura acima poderiam ter dado origem a fluxos intercelulares mas como as operações OpP62 e OpP61 são realizadas pelas máquinas M6x presentes nas duas células não existe fluxo intercelular.

**Passo A32.3 - Definir os fluxos para as células conceptuais**

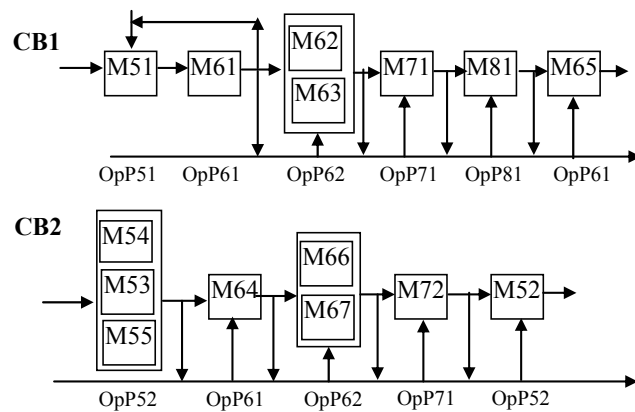
Depois da afectação realizada segue-se a análise das precedências para definir os fluxos para as células, tal como se fez nesta actividade para os produtos compostos. Verifica-se a necessidade de mais uma máquina para formar uma sequência sem fluxos inversos para a FPS1. Existem 3 possibilidades para resolver o problema já discutidas:

- 1) permitir o fluxo intercelular do PS5 entre a CB1 e a CB2 partilhando a máquina M52 (esta tem muita folga pois só é requisitada pelo PS3)
- 2) permitir fluxos inversos na CB1
- 3) comprar uma máquina M5x, se permitido

Supondo que não existe capital para comprar máquinas e como devem ser preferidas células básicas então opta-se pela segunda possibilidade, permitindo fluxos inversos na CB1.

**Passo A32.4 - Seleccionar a configuração operacional**

As duas células com os fluxos estão representadas na Figura 36.



**Figura 36. Células para as famílias FPS1 e FPS2 com representação dos fluxos**

Finalmente, escolhe-se a configuração operacional para estas células. Para a CB2 com fluxos directos e com transposição, qualquer configuração é adequada podendo optar-se por uma CJIT. Para a CB1 é mais apropriado escolher uma configuração diferente da CJIT por ter fluxos inversos, por exemplo, CQRM, dependendo esta escolha dos postos de trabalho a definir na próxima actividade.

O resultado principal desta actividade é a configuração operacional para as células conceptuais, outros resultados consistem na actualização da informação sobre o número de células, os elementos excepcionais e as máquinas que continuam partilhadas ou que o deixaram de ser e as adquiridas.

### 5.3.3. Instanciação de postos de trabalho (A33)

Na instanciação de postos de trabalho procura-se o refinamento de unidades necessárias de equipamentos principais e determinação do número e competências de pessoas para satisfazer as quantidades requeridas, a afectação equilibrada do conteúdo operatório de fabrico de um produto pelo número de postos de trabalho, isto é, o balanceamento e ainda a afectação dos operadores às células formadas e às máquinas.

O conhecimento sobre os produtos e as quantidades a produzir, o período de produção, a capacidade total nas máquinas e os turnos de produção continuam ser importantes. As informações que resultam da actividade anterior, instanciação das células conceptuais e das actividade seguintes, implantação intracelular e intercelular são também entrada nesta actividade.

O procedimento nesta actividade é constituído por 3 passos:

- A33.1 – calcular o número de operadores para cada célula

A33.2 - fazer o balanceamento das células

A33.3 – seleccionar e afectar os operadores às células

O primeiro passo consiste em calcular o número de operadores para cada célula para instanciar os postos de trabalho. Comparar o número de operadores necessários com os disponíveis permite tomar decisões relativamente à partilha ou subcontratação de operadores. Se os operadores disponíveis forem menos do que os necessários, pode-se ter que:

- Recorrer à subcontratação de operadores ou localizar operadores disponíveis noutras fontes => calcular custos de subcontratação ou deslocação
- Partilhar operadores entre as células => calcular custos de movimentação e esperas

O segundo passo (passo A33.2) é fazer o balanceamento das células (Wild, 1972; Ghosh e Gagnon, 1989; Scholl, 1995) que pode ser multi-modelo ou modelos misturados (Wild, 1972). Multi-modelo quer dizer que se vai produzir, em lotes ou individualmente, todas os produtos do tipo 1, depois do tipo 2, etc, i.e., os tipos de produtos entram sequencialmente na célula, não necessariamente por esta ordem que pode ser determinada mais tarde). O balanceamento de modelos misturados significa produzir, em lotes ou individualmente, os vários tipos de produtos simultaneamente. Escolher um ou outro tipo vai depender de vários factores.

Fazer um balanceamento multi-modelo pode resultar de:

- ter datas de entrega diferentes para cada ordem de produção associada a cada produto
- não existir datas de entrega para o cliente, fazer numa política de “Make To Stock” (informação que pode ser obtida na fase A1, actividade A11)
- os produtos simples entrarem na constituição de produtos compostos, havendo assim necessidade de coordenação para fazer primeiro os que são necessário primeiro (informação sobre os produtos obtida na fase A1, actividade A12)
- existirem tempos de preparação das máquinas devido à mudança de produto lançando-os na célula de acordo com o menor tempo de preparação entre elas
- querer reajustar a célula, colocando ou retirando máquinas que não são necessárias para todas os produtos da família
- existirem muitas diferenças entre as operações e as durações dos produtos (Kochhar e Pegler, 1991)

Fazer um balanceamento de modelos misturados pode resultar de:

- ter datas de entrega associadas a pequenas quantidades prontas de alguns produtos, entregas diárias ou semanais no âmbito de uma filosofia JIT (pequenas quantidades de vários produtos)
- não existirem tempos de preparação associados à mudança do produto

- otimizar a utilização de todas as máquinas que se colocaram na célula para processar a família
- não existirem diferenças marcantes entre as durações das operações dos produtos e os tempos de mudança serem baixos (Kochhar e Pegler, 1991)
- pequena variação da procura mensal (menos de 10% da procura média) (Khan e Day, 2002)

Para um ou outro tipo de balanceamento é indispensável o diagrama de precedências das operações e conhecer as restrições de vizinhança, se existirem. Estas podem aconselhar, por exemplo, para partilha de ferramentas, ou desaconselhar, por exemplo, por serem processos incompatíveis que perturbam o funcionamento de cada durante a realização das operações, o agrupamento de operações no mesmo posto ou postos contíguos. No final do balanceamento obtém-se o número de postos de trabalho com as operações em cada posto e a eficiência do balanceamento e define-se a configuração dos postos de trabalho.

Se um aspecto tradicionalmente central à formação de cada célula tem sido o agrupamento de máquinas necessário para a produção de uma família de artigos, a questão da selecção e afectação de operadores ou da equipa que deve gerir e operar cada célula é um problema de igual ou maior importância e consiste no terceiro passo desta actividade (passo A33.3). Na verdade a falta de operadores com competências adequadas pode inviabilizar qualquer agrupamento de máquinas planeado para a formação de células. Alguns estudos revelam, nomeadamente, Olorunniwo e Udo (2002) que as atitudes e motivação dos operadores tem impacto na implementação de células. No entanto, trabalhar em células também pode afectar o comportamento dos operadores (Shafer et al., 1995).

Nesta perspectiva, alguns autores como Min e Shin (1993), Molleman e Slomp (1999), Askin e Huang (2001) e Norman et al. (2002) reconhecendo a importância do agrupamento de pessoas desenvolveram modelos matemáticos e heurísticos onde a formação das células é realizada através de um agrupamento simultâneo de máquinas e pessoas e afectação destes às células.

Claramente, as sinergias resultantes da interacção entre os operadores de uma célula, baseadas nas competências e características socio-psicológicas dos operadores, são importantes e devem ser exploradas em toda a sua dimensão. Com este propósito a incumbência de tarefas poderá ser, em muitos casos, flexível e a responsabilização pelo

trabalho a vários níveis poderá ser remetida para equipas de operadores e não para indivíduos apenas.

Segundo a revisão realizada por Bidanda et al. (2005) aspectos importantes relacionados com as pessoas a serem tratados nas células incluem estratégias de afectação de operadores, identificação de competências, formação, comunicação, sistemas de remuneração/compensação, definição de papéis dos operadores, trabalho em equipa e gestão de conflitos.

Algumas formas de flexibilização passam necessariamente pela mobilidade e polivalência dos operadores e reafectação de tarefas que perante a mudança de artigo a produzir na célula permitem um rebalanceamento rápido e eficaz das tarefas a realizar por cada operador. Desta forma, consegue-se uma reconfiguração operacional da célula num curto espaço de tempo.

A afectação dos operadores às células implica conhecer, assim, as competências de cada operador em cada máquina para que se possa atribuir às células os operadores com um nível de desempenho mais elevado. Embora nalgumas situações o operador seja chamado apenas para carregar/descarregar as máquinas, noutras situações o tempo de operação depende do operador e torna-se fundamental para o bom funcionamento do sistema. O nível de desempenho do operador em cada máquina pode melhorar através do chamado efeito de aprendizagem em que o tempo de operação diminui à medida que a operação vai sendo repetida (Hayes e Wheelwright, 1979b; Hitomi, 1979). Nestas, os postos de trabalho são constituídos apenas por operadores, por exemplo, em linhas de montagem não automatizadas, ou são multirecursos, envolvendo máquinas e operadores, por exemplo, em máquinas de costura.

A existência de mais máquinas que operadores indica a necessidade de operadores polivalentes pelo que esta pode ser uma boa razão para dar formação aos operadores. Claro que outras razões bem mais importantes foram já discutidas na secção 3.5.. Para isso, torna-se necessário calcular os custos de formação, as horas que os operadores poderiam dispensar para formação e o valor máximo de investimento na formação, devido às restrições financeiras.

Esta actividade culmina, assim, com afectação dos operadores com o nível de desempenho mais elevado às máquinas dentro de cada célula e posto de trabalho. Esta afectação pode não ser definitiva pois os resultados das actividades seguintes,

particularmente o arranjo seleccionado e o modo operatório podem influenciar e alterar esta afectação.

### Exemplificação da instanciação de postos de trabalho para as famílias dos PC

Esta actividade começa por calcular o número de operadores. Um primeiro cálculo foi realizado na fase do Projecto Conceptual mas as mudanças nas células realizadas na actividade anterior provocaram alterações ao número de operadores pois a carga da máquina M1 passou para a CNB2. Desta forma o número de operadores passa para 8 (menos um) na CNB1 e 4 (mais um) na CNB2.

#### *Passo A33.2 - Balanceamento das células*

Para estas células fez-se o balanceamento de modelos misturados usando o método de Wild (1972) atendendo que o tempo de ciclo é o período disponível para produzir a quantidade requerida, neste caso 480 minutos, concluindo que são necessários 9 postos (PT) para a CNB1, Tabela 44.

**Tabela 44. Postos para CNB1**

	750	600			
CNB1	P2	P4	Carga	PP	<b>PT</b>
OpG2	0,3	0,5	525	3420	<b>1 e 2</b>
OpG4	0,5	0,9	915	2895	<b>3 e 4</b>
OpG3	0,4	0,05	330	1980	<b>5</b>
OpG2	0	0,5	300	1650	<b>6</b>
OpG1	1,8	0	1350	1350	<b>7, 8 e 9</b>

Na Tabela 45 mostra-se que para a CNB2 são necessários 4 postos de trabalho.

**Tabela 45. Postos para CNB2**

	1000	500	600			
CNB2	P1	P3	P4	Carga	PP	<b>PT</b>
OpG1	0,1	0,4	0	300	1370	<b>1</b>
OpG1	0	0	0,2	120	1070	
OpG2	0	0,2	0	100	950	<b>2</b>
OpG3	0,1	0,3	0	250	850	
OpG2	0,2	0,2	0	300	600	<b>3</b>
OpG1	0,1	0,4	0	300	300	<b>4</b>

#### *Passo A33.3 – Afectação dos operadores aos postos*

Segue-se a afectação dos operadores aos postos e havendo mais máquinas que operadores como acontece na CNB1 e nalguns postos mais do que uma operação, os operadores têm de ser polivalentes. Assim por uma questão de simplificação vai considerar-se que os operadores fazem qualquer operação e trabalham em qualquer

máquina, i.e., as suas competências são equivalentes. Desta forma, a distribuição e afectação dos operadores pelos postos atende apenas à carga de cada célula e ao balanceamento adequado dos postos, afectando mais do que um operador onde se prevê uma carga significativa sendo imperativo, no entanto, a entreaajuda dos operadores, Figura 37.

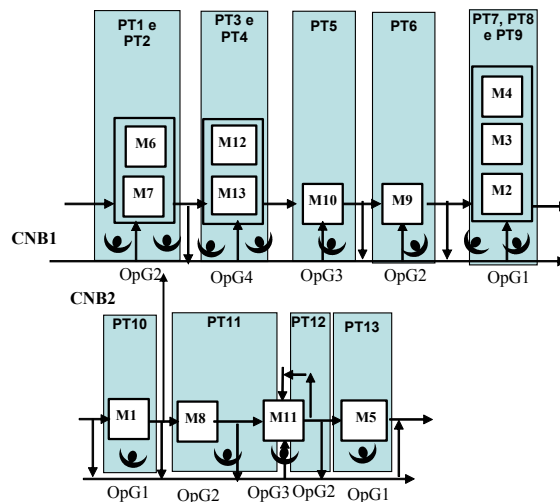


Figura 37. Postos e operadores para as células CNB1 e CNB2

Sobre os postos pode dizer-se que têm as configurações apresentadas na Tabela 46, sendo todos os postos multirecurso, i.e., máquinas requerem sempre o operador. Adicionalmente alguns são combinação do multirecurso com paralelo como o PT1, PT2, PT3, PT4, PT7, PT8, PT9 e PT3. O PT11 é ainda uma combinação de multirecurso com paralelo e multifunção pois são processadas duas operações.

Tabela 46. Configurações dos postos de trabalho para o exemplo dos produtos compostos

Configurações dos PT	Processadores	Recursos	Funções
PT1	MMM	Múltiplo	Única
PT2	MMM	Múltiplo	Única
PT3	MMU	Múltiplo	Única
PT4	MMU	Múltiplo	Única
PT5	UMU	Único	Única
PT6	UMU	Único	Única
PT7	MMU	Múltiplo	Única
PT8	MMU	Múltiplo	Única
PT9	MMU	Múltiplo	Única
PT10	MMM	Múltiplo	Única
PT11	UMU	Único	Múltipla
PT12	UMU	Único	Única



### Exemplificação de instanciação de postos de trabalho para as famílias de PS

Como ainda não foi calculado o número de operadores para estas células a instanciação dos postos começa com esse cálculo e segue os outros dois passos necessários nesta actividade.

#### Passo A33.1 - Cálculo dos operadores

Para as células das famílias de produtos simples são necessários 5 e 7 operadores, Tabela 47 e Tabela 48, respectivamente.

**Tabela 47. Cálculo do número de operadores para a CB1**

FPS1-CB1	OpP51	OpP52	OpP61	OpP62	OpP71	OpP81	Tproc.	Quant.	Carga
PS1	0,2	0	0,2	0	0,4	0	0,8	1000	800
PS2	0,1	0	0,2	0	0	0,2	0,5	750	375
PS5	0,2	0	0,1	0	0	0	0,3	600	180
PS8	0,05	0	0,15	0,8	0	0	1	750	750
<b>Total</b>								3100	2105
<b>NOper.</b>								4,87	<b>5</b>

**Tabela 48. Cálculo do número de operadores para a CB2**

FPS2-CB2	OpP51	OpP52	OpP61	OpP62	OpP71	OpP81	Tproc.	Quant.	Carga
PS3	0	0,55	0,1	0	0,2	0	0,85	1000	850
PS4	0	0,7	0	0,6	0,35	0	1,65	500	825
PS6	0	0,5	0,4	0	0	0	0,90	600	540
PS7	0	0,6	0	0,45	0,1	0	1,15	600	690
<b>Total</b>								2700	2905
<b>NOper.</b>								6,72	<b>7</b>

#### Passo A33.2 – Balanceamento das células

O balanceamento de modelos misturados realizado para a CB1 resultou em 5 postos de trabalho, Tabela 49.

**Tabela 49. Postos para CB1**

CB1	1000	750	600	750	Carga	PP	PT
	PS1	PS2	PS5	PS8			
OpP51	0,2	0,1	0,1	0,05	372,5	2105	<b>1</b>
OpP51	0	0	0,1	0	60	1733	
OpP61	0,1	0,2	0,1	0,15	422,5	1673	<b>2</b>
OpP62	0	0	0	0,8	600	1250	
OpP71	0,4	0	0	0	400	650	<b>3, 4 e 5</b>
OpP81	0	0,2	0	0	150	250	
OpP61	0,1	0	0	0	100	100	

Na Tabela 50 mostra-se o resultado do balanceamento para a CB2. Para esta são necessários 8 postos de trabalho.

Tabela 50. Postos para CB2

CB2	1000	500	600	600	Carga	PP	PT
	PS3	PS4	PS6	PS7			
OpP52	0,275	0,7	0,5	0,6	1285	2905	<b>6, 7 e 8</b>
OpP61	0,1	0	0,4	0	340	1620	<b>9</b>
OpP62	0	0,6	0	0,45	570	1280	<b>10 e 11</b>
OpP71	0,2	0,35	0	0,1	435	710	<b>12</b>
OpP52	0,275	0	0	0	275	275	<b>13</b>

### Passo A33.3 – Afecção dos operadores aos postos

Neste exemplo também o número de máquinas é superior ao número de operadores indicando a necessidade de polivalência da parte destes e entreadajuda. Para afectar os operadores às células e postos é importante saber o nível de competência com que eles desempenham. No exemplo dos produtos compostos simplificou-se o problema considerando as competências equivalentes. Neste exemplo considere-se que os 12 operadores necessários e disponíveis têm as competências presentes na Tabela 51 cujo nível varia entre 1 e 4 (significa que uns sabem mais do que outros e “----“ significa que o operador não trabalha nessa máquina). Desta forma, a distribuição e afecção dos operadores pelos postos já não pode ser apenas dependente da carga de cada célula mas também das suas competências.

Tabela 51. Competências dos operadores

	Oper1	Oper2	Oper3	Oper4	Oper5	Oper6	Oper7	Oper8	Oper9	Oper10	Oper11	Oper12
M51	3	---	4	---	4	3	4	---	3	3	---	4
M52	4	---	4	---	4x	4	4	---	4	4	---	4
M53	4	---	4	---	4	4	4	---	4	4	---	4
M54	4	---	3	---	3	3	3	---	3	3	---	3
M55	4	---	3	---	3	4	3	---	4	4	---	3
M61	---	4	2	1	2	---	2	4	---	---	4	2
M62	---	4	2	1	2	---	2	4	---	---	4	2
M63	---	4	3	1	3	---	3	4	---	---	4	3
M64	---	4	4	1	4	---	4	4	---	---	4	4
M65	---	3	4	2	4	---	4	3	---	---	3	4
M66	---	3	4	4	4	---	4	3	4	---	3	4
M67	---	2	4	3	4	---	4	2	---	---	2	4
M71	4	3	---	4	3	4	---	3	4	4	3	---
M72	4	4	---	4	3	4	---	4	4	4	4	---
M81	2	3	4	4	4	2	4	3	2	2	3	4

O critério usado neste exemplo é de afectar os operadores com o maior nível de competência em cada uma das máquinas, Figura 38. Esta solução de afecção procura assegurar pelo menos, um operador de nível 4 em qualquer uma das máquinas e senão existir procura o nível seguinte ou averigua a possibilidade de dar formação para obter

este nível. Mesmo sendo este um critério simples, o problema pode complicar-se se o operador escolhido com um bom desempenho numa máquina não sabe trabalhar em mais nenhuma máquina da célula pondo em causa o desempenho global da célula.

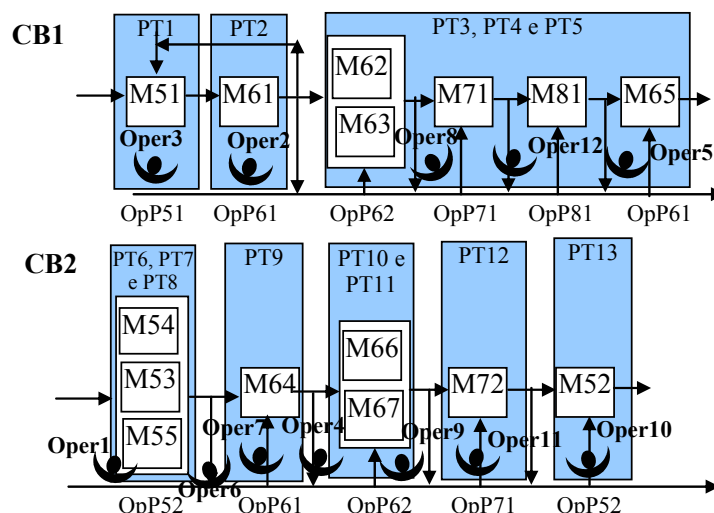


Figura 38. Postos e operadores para as células CB1 e CB2

A configuração de cada um dos postos é a apresentada na Tabela 52, mostrando a existência de postos multirecurso e combinado com o paralelo e multifunção. Nos postos multifunção, apenas 3 postos, são os operadores que vão processar várias operações. Desta forma, confirma-se a escolha das configurações operacionais realizada na actividade anterior adoptando-se uma CJIT para a CB2 e uma CQRM para a CB1.

Tabela 52. Configurações dos postos de trabalho para o exemplo dos produtos simples

Configurações dos PT		Processadores	Recursos	Funções
PT1	UMU	Único	Múltiplo	Única
PT2	UMU	Único	Múltiplo	Única
PT3	MMM	Múltiplo	Múltiplo	Múltipla
PT4	MMM	Múltiplo	Múltiplo	Múltipla
PT5	MMM	Múltiplo	Múltiplo	Múltipla
PT6	MMU	Múltiplo	Múltiplo	Única
PT7	MMU	Múltiplo	Múltiplo	Única
PT8	MMU	Múltiplo	Múltiplo	Única
PT9	UMU	Único	Múltiplo	Única
PT10	MMU	Múltiplo	Múltiplo	Única
PT11	MMU	Múltiplo	Múltiplo	Única
PT12	UMU	Único	Múltiplo	Única
PT13	UMU	Único	Múltiplo	Única

Apresentada a exemplificação desta actividade, pode-se sintetizar que resultados importantes para as actividades seguintes são a composição e tamanho de cada célula, i.e. número e tipo de máquinas e número e tipo de operadores para cada célula, a

afecção dos operadores às máquinas, os fluxos de trabalho, a localização óptima das máquinas partilhadas, as máquinas ou os processos incompatíveis, se existirem, e os postos de trabalho.

A possibilidade de replicação de algumas máquinas ou de subcontratação pode alterar a formação de produtos e o agrupamento de máquinas realizado anteriormente pelo que algumas saídas desta actividade devem ser entrada nas actividades anteriores. Tais saídas, além das referidas, são a divisão/formação das famílias de produção, as máquinas partilhadas, a distribuição da carga e as sobrecargas de algumas máquinas.

#### **5.3.4. Organização intracelular e controlo de cada célula (A34)**

Encontradas as famílias e projectadas as células para as produzir com as máquinas e operadores necessários, esta actividade procura organizar a célula no sentido de encontrar o arranjo mais adequado para as máquinas, escolher o modo operativo dos operadores e sequenciar e lançar os produtos no momento e modo adequado. Assim para concluir esta actividade é necessário realizar 3 passos:

A34.1- Definir a implantação intracelular

A34.2 - Escolher o modo operativo

A34.3 - Sequenciar e lançar os produtos individualmente ou em lote

O principal objectivo ao projectar implantações (primeiro passo) é determinar um arranjo que possibilite a produção dos artigos na quantidade e na qualidade requerida com uma circulação tão facilitada quanto possível, ao mais baixo custo e com um mínimo de movimentação. Isto envolve a melhoria do fluxo de trabalho, a afectação adequada de espaço e recursos, o fácil acesso aos materiais, o aumento da eficiência do espaço fabril e sua maximização de utilização e melhoria da segurança. O problema da implantação<sup>20</sup> deve, assim, ser tratado de uma forma integrada e sistemática com o projecto do sistema de manuseamento e armazenagem pois estas actividades são interrelacionadas.

Numa implantação adequada o encaminhamento dos produtos é evidente. Esta evidência resulta do encadeamento das operações, da supressão dos stocks intermédios, da redução das operações de movimentação, da simplificação dos fluxos das peças e do fácil controlo da produção.

---

<sup>20</sup> Na terminologia inglesa: Facility Layout Problem (FLP)

O objectivo da implantação intracelular é equivalente ao objectivo de qualquer outra implantação e procura encontrar um arranjo interno das células, isto é, a disposição dos equipamentos principais e a distribuição e movimentação dos operadores que minimize os movimentos dos materiais e dos operadores dentro das células<sup>21</sup>. A similaridade entre os dois problemas possibilita que os conceitos, modelos e algoritmos da implantação possam ser usados neste problema mais específico (ver apêndice B).

No projecto da implantação a preocupação tem sido na minimização dos custos de movimentação, no entanto, outros objectivos como a minimização do fluxo inverso e a maximização da produção são também procurados (Hassan, 1995). Embora estes objectivos também sejam aqui equacionados, as actividades anteriores resolvidas nesta metodologia facilitam a tomada de decisão nesta actividade pois a configuração operacional escolhida e a especificação das operações efectuadas em cada um dos postos (máquina e operadores) conduzem o processo de implantação intracelular. Isto significa que neste momento sabe-se que máquinas devem ficar próximas para cumprir a sequência definida na configuração operacional.

Vários tipos de implantações intracelulares, por exemplo, implantação em linha, em U, ou em W e sistemas de manuseamento de material, por exemplo, operador, robot ou transportador, existem sendo alternativas possíveis de serem escolhidos para a implantação da configuração seleccionada (Arvindh e Irani, 1994).

A tomada de decisão para selecção de uma destas pode basear-se nos custos de movimentação de materiais entre máquinas. Para isso é necessário dispor as máquinas segundo as alternativas possíveis que cumprem a sequência pré-definida, calcular a quantidade movimentada entre as máquinas, as distâncias entre elas e o custo de transporte por unidade de fluxo e por unidade de distância.

A área ocupada por cada uma das máquinas incluindo espaços adicionais para movimento e acessórios de apoio, por exemplo, mesas e cadeiras, o dimensionamento dos locais de armazenagem temporária e o ponto de entrada e saída das peças nas máquinas são importante para representar as diferentes alternativas e calcular as distâncias entre as máquinas. Estes pontos podem coincidir ou não, i.e. ponto de entrada igual ao ponto de saída e estarem predefinidos ou não como característica implícita do equipamento.

---

<sup>21</sup> Na terminologia inglesa: Machine Layout Problem (MLP)

Para a avaliação das alternativas também é necessário localizar a entrada e saída da célula. Esta fixação de localização têm vantagens como de facilitar o controlo das peças por causa da inspecção e do transporte e determinar mais facilmente o fluxo mas também têm desvantagens como a inflexibilidade de entrarem ou saírem de local da célula minimizando em determinadas situações as distâncias percorridas nas células. Por exemplo, se o ponto de saída da célula não estiver localizado num ponto específico as peças não têm que passar todas por aí, isto é quando uma peça acabar na última máquina da sequência (que pode estar localizada entre outras máquinas) sai da célula para outra ou para o armazém.

O critério dos custos de movimentação pode ser um critério irrelevante uma vez que as máquinas devem ficar próximas. Esta proximidade pode, no entanto, não ser possível devido a factores tecnológicos, por exemplo, incompatibilidade entre equipamentos. A proximidade ou afastamento exprimem critérios qualitativos que podem também interferir na tomada de decisão.

A definição da implantação intracelular não é o único problema a resolver nesta actividade pois estando os postos definidos e a localização das máquinas estabelecida é necessário ver de que forma os operadores se distribuem e movimentam dentro da célula que consiste no segundo passo do procedimento – passo A34.2 - desta actividade. Pelas razões já referidas nas secções 3.4.1. e 3.5., o movimento do operador deve ser preferido e qualquer configuração operacional apoiada em JIT advoga esta preferência, sendo obrigatório nas configurações onde o operador executa operações de carga/descarga. No entanto, poderão existir restrições a este movimento, nomeadamente em operações que exigem um grau de precisão elevado e aplicação de alguma força que apenas se consegue com o operador sentado, por exemplo, uma operação de costura de estofos de automóvel.

A forma como os operadores se movimentam dentro da célula ou modo operatório depende do tipo de implantação seleccionada e é particularmente importante na implantação em U talvez por esta ser considerada muito vantajosa (Miltenburg, 2001). A configuração operacional seleccionada torna mais fácil a selecção do modo mais adequado de entre os apresentados na secção 3.5.. Por exemplo, nas células L-CMS o modo *rabbit-chase* é particularmente recomendado apesar das desvantagens deste modo já enunciadas.

A disposição final das máquinas resultante desta actividade e o modo operativo escolhido vão possivelmente alterar os postos de trabalho anteriormente formados limitando ou expandindo o número de máquinas onde os operadores vão trabalhar. Se as máquinas afectas aos operadores, com base no nível de desempenho destes, estão distantes é preferível que eles se ocupem das que estiverem mais perto, se o nível de desempenho for o mesmo, desenvolvendo alguns padrões de trabalho com possibilidade de partilha de operações dos postos. Isto é possível se existirem outros operadores com níveis de desempenho equivalentes nas outras máquinas.

O controlo dentro das células relaciona-se com o lançamento e sequenciamento das famílias de produção e consiste no terceiro passo – passo A34.3 - a realizar nesta actividade de projecto. Esta pode ser vista a dois níveis: o sequenciamento dos diferentes tipos de produtos ou peças de cada família na célula e a sequência das famílias em cada célula, isto se a célula produzir mais do que uma família (Logendran, 1998). Esta última pode ser resultado de uma agregação/separação de famílias devido, por exemplo, à diminuição ou aumento da carga da célula e pode trazer ainda outro problema: o de sequenciar os produtos de uma família que é produzida em mais do que uma célula. Este deve ser resolvido iterativamente com a actividade seguinte para localizar e coordenar da forma mais adequada estas células.

O problema de sequenciamento é vulgarmente resolvido de uma forma empírica, por razões de complexidade e variabilidade das condições de produção, recorrendo-se a regras de prioridade de despacho ou de sequenciamento. Por exemplo, se existirem datas de entrega diferentes para as famílias a regra que faz mais sentido utilizar é pela data de entrega mais cedo (EDD)<sup>22</sup>. Se forem todas para a mesma data pode-se sequenciá-las de acordo com o menor tempo de processamento (SPT)<sup>23</sup> minimizando desta forma o tempo de percurso médio de todas as famílias.

Se existirem tempos de preparação das máquinas devido à mudança de peça pode-se determinar a sequência das peças usando algoritmos da área de escalonamento pois existem muitos (apêndice B). Claro que estes tempos não serão suficientemente significativos para formar famílias pois caso contrário na actividade A31 de formação de famílias este critério teria sido usado procurando a similaridade entre peças para

---

<sup>22</sup> Earliest Due Date

<sup>23</sup> Shortest Processing Time

minimizar os tempos de preparação como nas células de TG ou nos processos químicos (Ohta e Nakamura, 2002).

No caso de linhas de montagem de produtos misturados, a determinação do sequenciamento dos produtos pode ser feita de acordo com o abastecimento/consumo de componentes à linha como no *Goal Chasing Method* utilizado na Toyota (Monden, 1983) ou usando uma versão modificada do método de Goal chasing (Xiaobo et al., 1999) e o lançamento é realizado pela ordem obtida.

O lançamento dos produtos pode ser realizado imediatamente umas a seguir outras, com intervalos a uma taxa fixa ou com intervalos a uma taxa variável (Wild, 1972; Scholl, 1995). No âmbito da produção JIT para regularizar a produção, isto é, para obter pequenas quantidades de todos os produtos, estes são lançados ciclicamente e proporcionalmente à quantidade necessária de cada um.

Após esta tarefa ainda se torna necessário definir as quantidades a lançar e produzir de cada produto, isto é, definir o tamanho do lote que está directamente relacionado com a tarefa anterior pois estando a célula projectada para produzir uma família ou mais do que uma família, vantagens relacionadas com a minimização do tempo de preparação das máquinas ou da célula (ainda que mínimo) dentro de uma família ou entre as famílias a produzir podem ser conseguidas.

Para determinar o tamanho do lote, embora possam ser usadas as quantidades económicas de encomenda, pode acontecer que a frequência de produção de um produto (o tempo entre lotes sucessivos) seja tão grande que durante este intervalo, o stock do produto vá a 0. Este problema pode ser ultrapassado se os tamanhos de lote e os ciclos de produção forem estabelecidos de acordo com as necessidades de todas os produtos, i. e. com a produção, taxas de consumo e custos de produção (Wild, 1972). Para isto é necessário ter dados sobre o custo de posse por produto por período e o custo de preparação da célula por produto.

A produção dos produtos numa célula possibilita o movimento de pequenos lotes ou mesmo unidades de artigo, num fluxo praticamente contínuo entre postos de trabalho devido à reduzida movimentação de materiais ou distâncias de movimentação. Esta vantagem é explorada por algumas configurações que assumem como uma das suas características a transferência unitária das peças dentro das células, como é o caso da célula operacional JIT. No ambiente desta configuração o tamanho de lote é unitário ou



em quantidades reduzidas, que podem ser menores ou iguais à capacidade do contentor. O fluxo de materiais é controlado pelo número de contentores previsto para o sistema. Mas as mudanças de produto a fabricar ou montar ainda que rápidas, por vezes têm um custo muito elevado quando comparado com o valor unitário dos produtos produzidos. Não seria portanto económico produzir apenas as pequenas quantidades de produto. Neste ambiente de produção conjunta e repetitiva as quantidades a lançar em produção são aproximadas às quantidades dos lotes económicos para cada produto onde isso seja possível.

Mesmo movimentando pequenos lotes, esta vantagem associada ao encadeamento de operações na célula permite explorar ainda as vantagens da estratégia de partição do lote e de sobreposição de processamento do lote. Assim o processamento em lotes na célula é possível a um tempo e custo reduzido das quantidades em curso. Processando pequenos lotes ou uma unidade de cada vez permite também o acesso quase imediato de uma peça ou pequeno lote de uma família afecta a uma outra célula a uma máquina da célula em questão pois não tem de esperar que todas as peças de um grande lote estejam finalizadas para conseguir a máquina.

Nas situações anteriores supõe-se que a disponibilidade do produto<sup>24</sup> é apenas dependente do término do seu processamento mas existe outras situações em que isto não acontece e as estratégias referidas não fazem sentido. Estas situações ocorrem quando a razão para formação de lotes foi a das máquinas<sup>25</sup> processarem vários produtos em simultâneo ou o transporte ser realizado em paletes de várias unidades (respectivamente o lote de processamento e o lote de transferência). Nestas a disponibilidade de cada produto é dependente da disponibilidade do lote<sup>26</sup> (Potts e Kovalyov, 2000).

A realização desta actividade faz-se mediante algumas restrições tais como as restrições de espaço e de construção do edifício, restrições tecnológicas, financeiras e de recursos.

Algumas ferramentas sugeridas para concretizar a actividade da implantação intracelular são os trabalhos de autores que resolvem ou tentam resolver o problema da implantação intracelular, diagramas para representar o fluxo dos materiais e aplicações informáticas de apoio (apêndice B e C) para encontrar soluções para as implantações

---

<sup>24</sup> Na terminologia inglesa: *job or item availability*

<sup>25</sup> Na terminologia inglesa: *batching machine*

<sup>26</sup> Na terminologia inglesa: *batch availability*

com particular destaque para as ferramentas mais recentes que permitem ao utilizador representar graficamente, visualizar e analisar quantitativamente essas soluções como por exemplo, o Planning Table (Weiner, 2000).

Além destas, nesta actividade pode ainda utilizar-se algumas ferramentas informáticas como o *MsProject* e software de simulação. A primeira seria para representar o diagrama de Gantt com as várias operações processadas pelas máquinas e/ou operadores fazendo uso também do gráfico de afectação de recursos e redistribuindo-os em caso de sobrecarga. A segunda seria importante para gerar e simular os arranjos físicos e medir o tempo de produção de todos os produtos e outras medidas tais como o comprimento de filas de espera e o dimensionamento de armazenagens temporárias apontando alternativas mais adequadas.

### Exemplificação da organização intracelular para as famílias de PC

A conclusão das actividades anteriores apresenta como solução duas células partilhadas com uma configuração operacional CQRM embora a CNB1 tenha potencial para ser uma CJIT. Atendendo à semelhança das características destas configurações desenvolvem-se os passos requeridos nesta actividade.

#### *Passo A34.1 – Definir a implantação intracelular*

Como as configurações seleccionadas têm arranjos preferenciais em U, este pode ser o motivo para adoptar este tipo de arranjo embora a escolha de um arranjo adequado resulte muitas vezes de uma análise detalhada a vários factores já referidos. Supondo que o arranjo em U é o adoptado ainda existem algumas questões a resolver como a largura do “U” que pode ser mais estreito ou mais largo, a distância entre máquinas, a disposição das máquinas replicadas que podem ficar paralelas ou em linha, o fluxo do material no sentido dos ponteiros do relógio ou contrário, o manuseamento do material e a dimensão dos buffers de armazenagem temporária. Resolvidas estas questões os arranjos poderiam ser os da Figura 39.



Figura 39. Arranjos em U para as células CNB1 e CNB2

### **Passo A34.2 - Escolher o modo operatório**

Para as configurações seleccionadas e o arranjo em U os modos operatórios mais adequados são o TSS, *working balance* ou *baton-touch*, secção 3.5.. Atendendo ao número de operadores, postos formados e competências equivalentes dos operadores a opção pode fazer-se pelo TSS para as duas células procurando que os operadores desenvolvam padrões de trabalho e partilhem operações promovendo o espírito de equipa, Figura 40. A adopção deste modo operatório implica um manuseamento manual, transferência unitária dos produtos e um espaço reduzido ou nenhum espaço para armazenagem temporária.

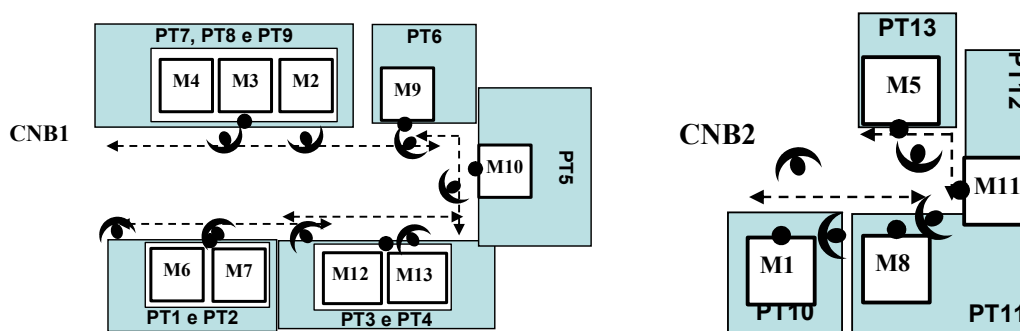


Figura 40. Modo operatório para os operadores das células CNB1 e CNB2

### **Passo A34.3 - Sequenciar e lançar os produtos individualmente ou em lote**

A CNB1 vai montar por dia de trabalho 750 unidades de PC2 e 600 unidades de PC4 enquanto a CNB2 vai montar 1000 unidades de PC1 e 500 unidades de PC3. Como na actividade anterior realizou-se um balanceamento de modelos misturados e o modo operatório escolhido foi o TSS supõe-se que os produtos vão ser lançados em contentores ou mesmo um a um, dependendo de vários factores, por exemplo, da similaridade dos produtos ou da embalagem adoptada para fornecer aos clientes, e misturados nas células.

A regularização do fluxo pode ser conseguida lançando os produtos ciclicamente e proporcionalmente à quantidade necessária de cada um, tal como nas CJIT. Assim, para a CNB1 tem-se um PC2 por cada PC4 duplicando o PC2 em cada 8 produtos, podendo o ciclo ser: **PC2-PC2-PC4-PC2-PC4-PC2-PC4-PC2-PC4**, iniciando-se pelo PC2 pois o PC4 inicia-se na M1 da CNB2. Na CNB2 por cada dois PC1, é lançado um PC3 e adicionalmente é lançado o PC4. Em cada 21 produtos: 10 são PC1, 5 são PC3 e 6 são PC4 podendo o ciclo ficar: **PC4-PC1-PC1-PC3-PC4-PC1-PC1-PC3-PC4-PC1-PC1-PC3-PC4-PC1-PC1-PC3-PC4-PC1-PC1-PC3-PC4**.

Na Figura 41 está representado o diagrama de Gantt para a CNB1 com a sequenciação dos 9 primeiros produtos a serem montados na célula para exemplificar como esta ferramenta pode ser útil, para estudar sequências alternativas e visualizar as máquinas que constituem estrangulamentos, neste caso, a M10 no início e depois as M12 e M13.

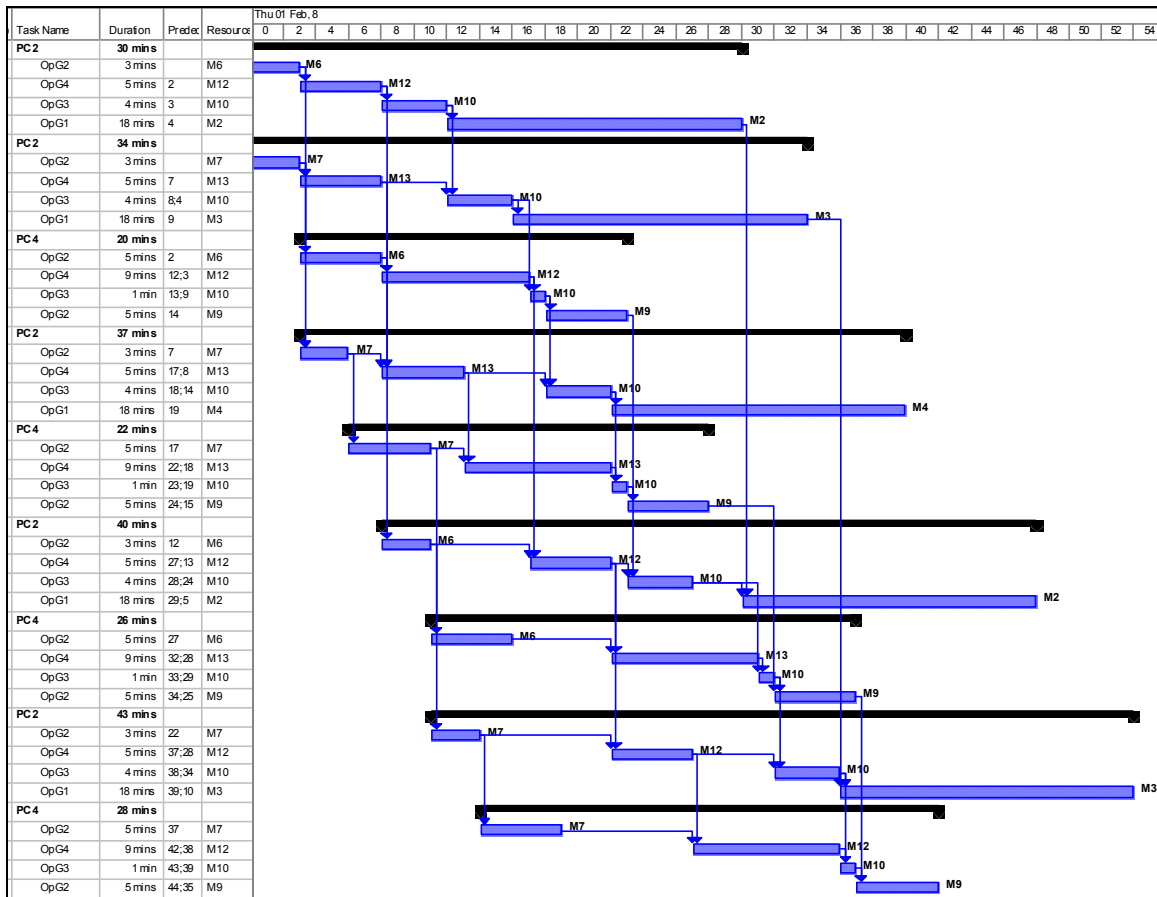


Figura 41. Sequenciação dos nove primeiros produtos da CNB1 num diagrama de Gantt

A sequência dos produtos compostos podia obter-se através do método de *Goal Chasing* já referido para regularizar o abastecimento dos produtos simples. A vantagem ao usar este método é que se pode também definir a sequência para os produtos simples que alimentam estas células. Assim as 10 primeiras iterações de aplicação do *Goal Chasing* para a CNB1 indica uma sequência de PC2 alternado com PC4 que requerem PS2, PS8 e PS5, PS6, PS7, respectivamente. No entanto, estes produtos simples provêm de diferentes células (PS2, PS8 e PS5 de CB1 e PS6 e PS7 de CB2) exigindo um esforço de coordenação para que não haja excesso nem falta dos produtos para a montagem.

### Exemplificação da organização intracelular para as famílias de PS

Tal como o exemplo dos produtos compostos, também para estas células foram seleccionadas as configurações operacionais CJIT e CQRM.

#### Passo A34.1 – Definir a implantação intracelular

Como para o exemplo anterior não se realizou nenhuma avaliação de diferentes alternativas de implantações, a título exemplificativo vai-se avaliar para a CB1 um arranjo linear e um arranjo em U, Figura 42. O critério utilizado é o do custo de movimentação supondo que o custo de movimentação por unidade movimentada por unidade de distância é de 1 euro e as distâncias são calculadas atendendo às distâncias entre máquinas representadas nas figuras.

Calculadas as distâncias percorridas pelos 4 produtos (PS1, PS2, PS5 e PS8), o custo total de movimentação para o arranjo linear é de 76100 € e para o arranjo em U de 56617 €, seleccionando-se o arranjo em U para esta célula.

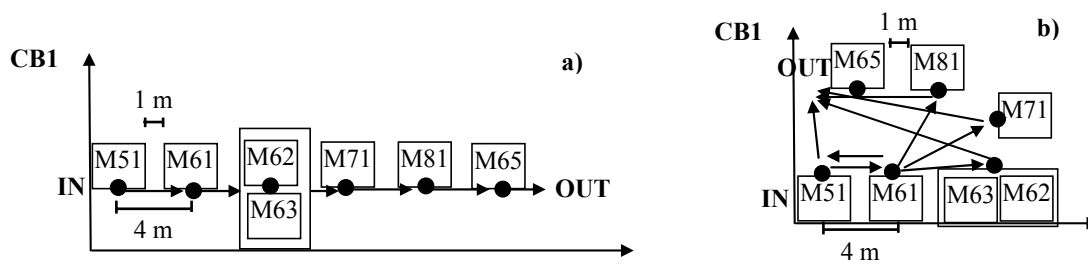


Figura 42. Arranjo para a CB1: a) linear; b) em U

O mesmo critério podia ser utilizado para a CB2, avaliando por exemplo, dois arranjos em U diferentes. O arranjo final da CB2 podia ser o da Figura 43.

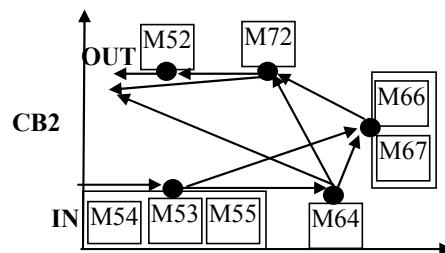


Figura 43. Arranjo em U para a CB2

#### Passo A34.2 - Escolher o modo operativo

Tal como no exemplo anterior também aqui podem ser adoptados os modos operatórios TSS, *working balance* ou *baton-touch* mas como os operadores têm competências distintas é melhor que cada um tenha a sua zona de actuação. No caso de CB1, o oper3

fica responsável pela M51, o oper2 pela M61 e os restantes operadores (oper8, oper12 e oper5) ficam responsáveis pelas máquinas M63, M62, M71, M81 e M65, sendo imperativo nestas a entreaajuda pois o oper12 não sabe trabalhar na M71. A CB2 pode ser dividida em 2 zonas de actuação: uma primeira com os operadores oper1, oper6 e oper10 e outra com os operadores oper7, oper4, oper9 e oper11, Figura 44.

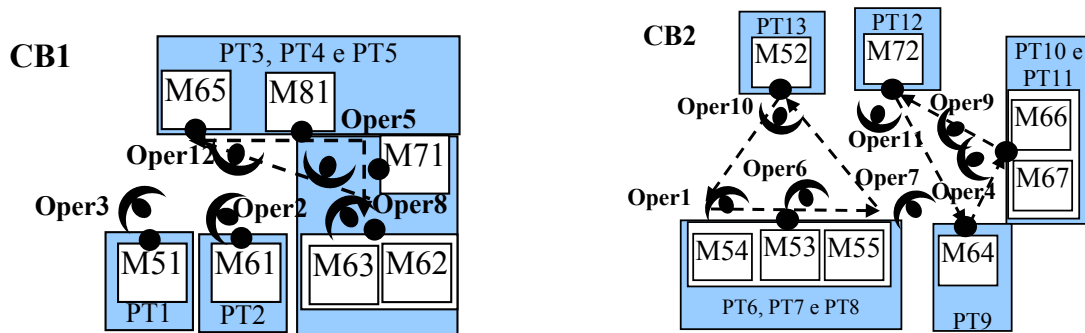


Figura 44. Modos operatórios para as células CB1 e CB2

### *Passo A34.3 - Sequenciar e lançar os produtos individualmente ou em lote*

Os produtos simples vão ser misturados, tal como os compostos, para obter-se quantidades pequenas de cada produto. A CB1 vai produzir 3100 unidades por dia de trabalho: 1000 unidades de PS1, 750 de PS2, 600 de PS5 e 750 de PS8. Por cada hora são produzidas 125 unidades de PS1, 93 ou 94 unidades de PS2, 75 unidades de PS5 e 93 ou 94 unidades de PS8. Ou por cada 3 PS5 lançados devem ser lançados 5 PS1 e alternadamente 4/3 (ou 3/4) PS2 e PS8 para um total de 200 ciclos que poderia ficar: PS2-PS2-PS2-PS2-PS8-PS8-PS8-PS5-PS5-PS5-PS1-PS1-PS1-PS1-PS1, alternando com 3 PS2 e 4 PS8 no ciclo seguinte num total de 50 ciclos. Esta sequência pode ainda ser misturada alternando individualmente os vários produtos.

A CB2 vai produzir 2700 unidades por dia de trabalho que corresponde a 125 unidades de PS3, 62/63 unidades de PS4 e 75 unidades de PS6 e PS7. O ciclo poderia ser: PS3-PS3-PS4-PS6-PS7-PS3-PS3-PS6-PS6-PS7-PS7.

As sequências apresentadas são apenas algumas possibilidades que podem ser alteradas na actividade seguinte. Assim, além destas possibilidades, como saídas desta actividade tem-se os fluxos entre células, o tamanho da célula e a forma da célula importantes para a actividade seguinte e o tipo de implantação, fluxos e caminhos dos produtos, o custo de manuseamento de materiais e a localização das máquinas partilhadas.

### **5.3.5. Arranjo integrado do SPOP (A35)**

A actividade do arranjo integrado do SPOP, i.e. de integração e coordenação das células para formar o SPOP global e do controlo da produção e do fluxo intercelular pode ser dividida em duas tarefas distintas mas relacionadas que consistem nos dois passos a realizar nesta actividade:

A35.1 – definição da implantação intercelular de células

A35.2 - integração e coordenação do SPOP global

O primeiro procura encontrar um arranjo e um sistema de manuseamento entre as células. O segundo procura seleccionar o sistema de planeamento e controlo da produção (PCP) e mais importante ainda procura a integração e coordenação do SPOP global, isto é, das células partilhadas e não partilhadas de fabricação e montagem dedicadas a um produto ou família.

Tal como na actividade anterior de definição da implantação intracelular também aqui existem vários tipos de implantações intercelulares, por exemplo, em “espinha” linear, em X ou em T e sistemas de manuseamento e transporte, por exemplo, robot, transportador ou AGV, passíveis de serem escolhidos. Como o leque de opções pode ser grande, a tomada de decisão é complicada se não se conhecer exactamente que objectivos se pretendem atingir, sendo comum procurar a minimização do custo do movimento e manuseamento intercelular.

Claro que as informações que resultam das outras actividades como a localização das máquinas partilhadas, as máquinas ou os processo incompatíveis, a mistura de produtos e o tamanho da célula, os fluxos entre células decorrentes da partilha de recursos ou do processo, o tamanho da célula e a forma da célula condicionam e orientam no sentido de uma opção em detrimento de outras.

Mas a implantação de células mesmo que estas não sejam partilhadas nunca pode ser tratado apenas como um problema de localização das células no espaço fabril. Isto porque as células ou linhas fazem sempre parte do SPOP e devem ser integradas numa rede alargada e coordenada de recursos a produzir em simultâneo para o mesmo produto ou encomenda, secção 3.2.6..

Portanto, a menos que o SPOP esteja reduzido a uma única célula ou unidade produtiva, e mesmo que não sejam partilhados recursos, existe um fluxo de material numa óptica

de “fornecedor-cliente” entre as várias unidades do SPOP que interessa coordenar para cumprir o objectivo principal do SPOP: entregar a encomenda ao cliente a um custo reduzido e no prazo acordado.

A utilização simultânea de células ou recursos, na produção da mesma encomenda, pode fazer-se através da exploração de estratégias como as referidas para o lote dentro da células, a um nível de detalhe inferior. Assim esta utilização simultânea pode conseguir-se com, ou sem, a sua partição - *lot splitting* - e com, ou sem, sobreposição de processamento de lotes – *lot overlapping*.

A partição duma encomenda em várias ordens de fabrico, permite o processamento simultâneo destas nas células ou recursos de produção do SPOP. A sobreposição do processamento de lotes de uma encomenda baseia-se na possibilidade de enviar parte dela para a célula ou recurso seguinte, onde a encomenda é processada, antes de terminar o processamento de toda a quantidade da encomenda na célula ou recurso anterior. Desta forma, a execução de duas transformações diferentes consecutivas, sobre o mesmo lote de produção, realiza-se simultaneamente durante um determinado período de tempo. A aplicação destas estratégias são avaliadas em Lima (2003).

Está inerente na sobreposição de processamento o conceito de *connected cells*, onde o *output* de uma célula torna-se o *input* da próxima célula (Süer et al., 1995, Süer, 1998), pois o resultado da primeira transformação entra na célula seguinte para a segunda transformação. São necessárias, pelo menos, duas células para completarem um produto e afectação de um trabalho a uma célula ligada requer uma atenção redobrada pois o produto irá consumir alguma da capacidade disponível das células subseqüentes.

A interligação das células numa acção coordenada com vista ao cumprimentos dos objectivos dos SPOP é, normalmente, realizada através de mecanismos diversos de controlo da actividade de produção e do fluxo de materiais que explora tanto os chamados paradigmas de controlo de produção do tipo *pull* como o *push*, como ainda hibridações criativas dos dois.

Surgem assim conceitos ou sistemas de controlo como os bem conhecidos *pull-kanban* (Monden, 1981, 1983, e Black, 1991), *generic kanban system* (GKS) (Chang e Yih, 1994); *base stock control* (BSC) (Magee, 1958; Buzacott et al. 1992, referidos em Benders e Riezebos, 2002; Bonvik et al. 1997) *minimal blocking* (MB) (So e Pinault 1988; em Bonvik et al. 1997) do tipo *pull*; o *materials requirement planning* (MRP)



(Orlicky, 1975; Vollman et al., 1997, e Browne et al., 1988); o *period batch control* (PBC) (Burbidge, 1993) do tipo *push* e *Optimized Production Technology - Drum Buffer Rope* (OPT-DBR) (Goldratt e Fox, 1986, e Browne et al., 1988) baseado na *Theory of Constraints* (TOC) (Goldratt, 1990, e Miltenburg, 1997); Synchron-MRP (Hall, 1981), CONWIP (Spearman et al., 1990; Spearman e Zazanis, 1992, e Bonvik et al., 1997) e, mais recentemente, o POLCA (Suri, 1998) do tipo híbridos para citar apenas alguns.

Não é objectivo deste trabalho descrever como funcionam estes sistemas mas importa referir que cada um dos sistemas tem características que os adequam melhor a umas estratégias de resposta à procura (MTS, MTO, ATO ou ETO) do que a outras como é o caso do *pull-Kanban*, CONWIP, *base stock control* que por serem essencialmente de reposição são considerados apropriados para o MTS enquanto que o OPT e MRP são mais adequados para MTO. Identificada a estratégia de resposta à procura na metodologia, esta pode ajudar na selecção do tipo de sistema PCP.

Adicionalmente alguns destes sistemas de controlo da actividade produtiva estão associados a configurações operacionais específicas como, por exemplo, o *pull-kanban* às células JIT e o POLCA às células de resposta rápida. Desta forma, seleccionadas as configurações para as células na actividade A32 a selecção do sistema de controlo fica mais fácil tornando, no entanto, a tarefa de o projectar mais difícil devido aos diferentes requisitos de cada um. Assim, nesta actividade apenas alguns parâmetros para o sistema seleccionado podem ficar definidos como o número de kanbans ou o número de cartões POLCA assim como os pares de células ligados.

Embora algumas tentativas tenham sido feitas, nomeadamente, Hyer e Wemmerlöv (1982) e Bauer et al. (1994) para adoptar alguns dos sistemas referidos ao planeamento das células, a verdade é que apenas conseguiram mostrar que o planeamento nas células é complexo existindo vários factores que afectam este planeamento tais como as características diferentes de cada célula relacionadas com o grau de independência ou a polivalência dos operadores. Assim, cada célula deve ser planeada e controlada separadamente e, ao mesmo tempo, é necessário coordenar as operações entre as células de fabricação, submontagem e montagem.

Esta coordenação é conseguida no L-CMS de Black (1991) e no TPS através da sincronização ou "*building to the schedule*". As células em U fazem uma montagem

final de artigos misturados. Desta forma nivela ou alisa a procura para as submontagens e outros componentes que entram na montagem final. A taxa de produção é determinada pelo cálculo da procura mensal e depois diária tentando fazer a mesma mistura de produtos todos os dias na montagem final. As linhas de submontagem estão configuradas também em células em U. A produção diária destas células é balanceada para corresponder à procura da montagem final. O sistema *pull* liga os diferentes níveis entre as células, circulando kanbans de levantamento entre as células e kanbans de produção dentro das células.

Riezebos et al. (1998) apresenta os problemas do MRP quando usado em células mostrando os vários parâmetros no sistema MRP que devem mudar para obter os benefícios da conversão de um sistema funcional para as células. Pode isto significar que a adopção deste tipo de sistemas nas células não é totalmente desadequado apenas são necessárias adaptações.

Algumas características do MRP, tais como o planeamento faseado no tempo do fluxo dos produtos entre fases e a explosão dos produtos finais (procura independente) para determinar as necessidades de materiais, são similares ao PBC (Burbidge, 1993, 1996) considerado por vários autores nomeadamente, Steele e Malhotra, (1997) e Benders e Riezebos (2002) como o sistema de planeamento e controlo projectado para células.

New (1977, em Benders e Riezebos, 2002) considera ser o MRP uma evolução do PBC, que usa a ideia do período de tempo fixo “*time bucket*” do PBC mas permite que tempos de entrega planeados para as ordens variem. Ainda no MRP a frequência de encomenda das peças e dos produtos não necessita ser a mesma o que resulta num sistema de planeamento mais complexo comparado com o PBC. Consequentemente associado a esta complexidade do MRP surgem consequências negativas para a utilização dos recursos, a estabilidade do plano (instabilidade) e níveis de stock que conduziram ao desenvolvimento do MRPII e dos sistemas ERP.

Steele e Malhotra (1997) consideram que a implementação do PBC na mecânica do MRP apenas implica políticas idênticas para todas as peças a todos os níveis – uma política de lote por lote no dimensionamento do lote, um tempo de entrega planeado de um período e nenhum stock de segurança.

A principal característica do PBC é a periodicidade em que o sistema opera causando uma sincronização do fluxo dentro do sistema de produção. Neste sentido Burbidge

(1989) considera que o PBC pode ser facilmente combinado com JIT.

Steele e Malhotra (1997) este tipo de sistema é adequado para sistemas com várias fases de transformação mas não muitas. Permite coordenação dentro e fora das empresas, proporciona uma utilização apropriada de recursos escassos e tempos de produção reduzidos. Um exemplo de indústria onde pode ser aplicado é na indústria de mobiliário para escola.

A adopção de um sistema específico ou um sistema híbrido para o planeamento influencia a actividade anterior em termos de sequenciamento, lançamento das peças e dimensionamento do lote.

As restrições que afectam a realização desta actividade são do mesmo tipo que as restrições da actividade da implantação intracelular. Restrições básicas como a área disponível ou a geometria do edifício devem ser conhecidas.

Embora aqui possam ser usados métodos para resolver o problema de implantações devem ser preferidos métodos que tenham atenção a necessidade de coordenação entre células como em Wang e Sarker (2002) que tenta localizar células com máquinas partilhadas entre células e outros que tratem o problema da integração das células de fabricação, submontagem e montagem.

### **Exemplificação para integração das células dos produtos compostos com as células dos produtos simples**

Nesta última actividade fundem-se os resultados até agora obtidos para as duas células formadas para as famílias dos produtos compostos com as duas células formadas para os produtos simples. O objectivo principal da metodologia culmina nesta actividade que é o da integração das várias células num Sistema de Produção Orientado ao Produto.

#### ***Passo A35.1 - Definir a implantação intercelular***

Na implantação intercelular das várias células entretanto formadas deve ter-se em conta que as células básicas de produtos simples vão estar ligadas às células não básicas porque as primeiras alimentam as segundas. Atendendo às quantidades movimentadas entre as células básicas e não básicas um arranjo viável seria o da Figura 45 onde se podem ver os fluxos intercelulares e os produtos simples que lhes deram origem.

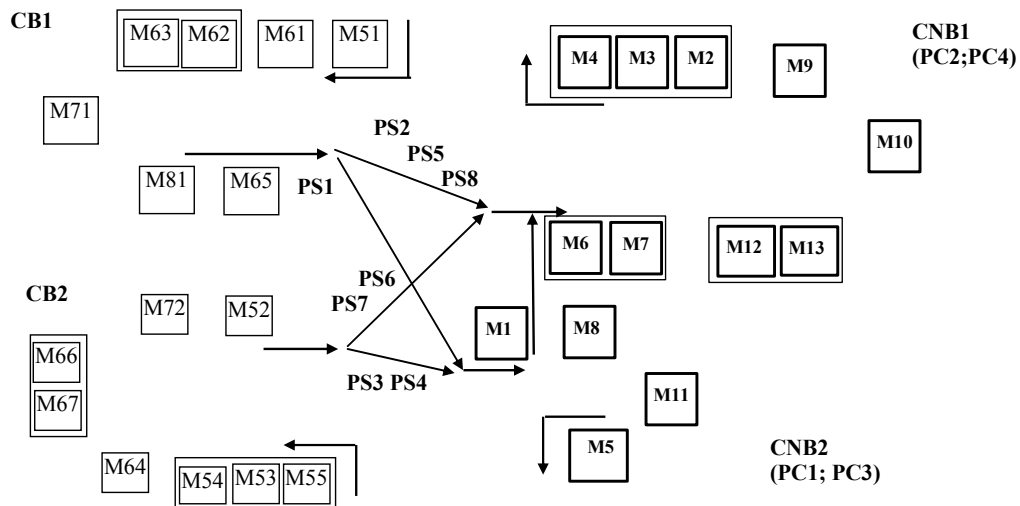


Figura 45. Implantação intercelular das 4 células formadas

Pode ver-se ainda neste arranjo que os operadores das células CNB1 e CB1 têm uma movimentação no sentido dos ponteiros do relógio e as outras não. Isto deve-se à necessidade de alimentação entre as células. O facto de nem todos os operadores se movimentarem no mesmo sentido em todas as células pode inviabilizar a troca dos operadores entre as células por estes poderem ter dificuldades de adaptação ao sentido do movimento. Poder-se-ia tentar obter uma implantação intercelular mais adequada sendo necessário alterar a orientação das implantações intracelulares obtidas.

### ***Passo A35.2 - Integração e coordenação do SPOP global***

A integração e coordenação das 4 células que formam o SPOP deve começar por atender que os produtos compostos pertencem a diferentes famílias de mercado: PC1 pertence à família FM1, PC2 pertence à família FM2 e o PC3 e PC4 pertencem à mesma família (FM3). A coordenação da produção desta família assume particular relevância por causa dos seus produtos serem montados em diferentes células. Assim o é importante que o PC3 e o PC4 saiam das células respectivas simultaneamente. Como o processamento de PC4 começa na célula CNB2 deve entrar antes do PC3 e, portanto, resequenciar a sequência encontrada na actividade A34 voltando a essa actividade, se necessário. Uma simulação das duas células poderia ajudar a perceber o seu comportamento.

Encontrada a sequência dos produtos compostos, as células de produtos simples devem fabricá-los numa sequência adequada. Assim quando a célula CNB1 começar a produzir um PC2 a célula CB1 deve ter pronto, pelo menos, um PS2 e um PS8. Entretanto o PC4

deve começar na CNB2 para fazer uma operação em que não entram produtos simples e depois passar para a célula CNB1 para lhe ser adicionados os produtos simples PS5, PS6 e PS7 que são fabricados na CB1 (PS5) e na CB2 (PS6 e PS7). O PC3 começa mais tarde na célula CNB2 requerendo da CB2 dois PS3 e um PS4.

Esta coordenação entre células pode ser realizada utilizando um sistema de controlo adequado à configuração operacional seleccionada. Assim, na actividade A32 seleccionaram-se células CQRM para as famílias de produtos compostos e para uma família de produtos simples. Como as CQRM são mais flexíveis que as CJIT considere-se que todas as células são CQRM, adoptando-se um sistema de controlo POLCA entre elas. Os pares de células a considerar para este sistema são os da Figura 46 e o número de cartões para cada par, considerando um horizonte de planeamento de um dia de trabalho, são de 14 para o par CB1-FPS1/CNB1-FP2; 3 para o par CB1-FPS1/CNB2-FP1; 10 para o par CB2-FPS2/CNB1-FP2 e, finalmente, 6 para o par CB2-FPS2/CNB2-FP1.

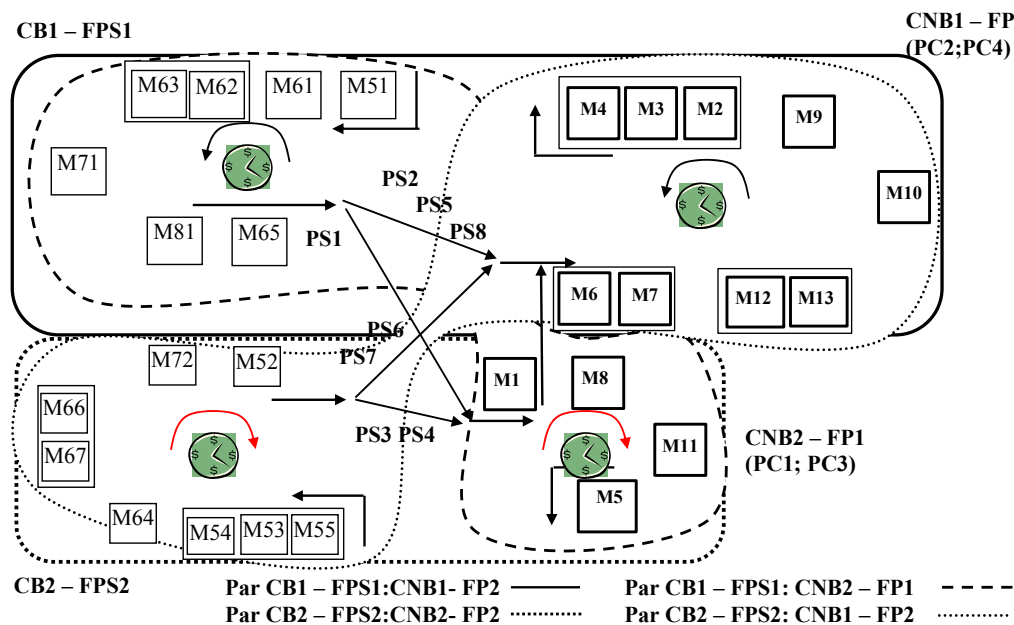


Figura 46. Pares de células para o sistema POLCA no SPOP

A fórmula para o cálculo deste número de cartões está descrita em Suri (1998) e atende aos tempos de entrega das células que pertencem a cada par e ao número de produtos que circula entre as células num dado período de planeamento. Havia ainda muitas considerações a fazer na implementação real do sistema POLCA mas pensa-se ser suficiente as aqui feitas.

Outro arranjo possível é o apresentado na Figura 47 onde se encaixa a célula CNB2 na CNB1, podendo apresentar-se, por um lado, como uma solução melhor em termos de redução de espaço para a produção e facilitando a utilização dos operadores nas duas células, podendo reduzir a necessidade de alguns. Por outro lado, pode provocar uma maior perturbação do fluxo impossibilitando o movimento desimpedido aos operadores para as máquinas M4, M3 e M2.

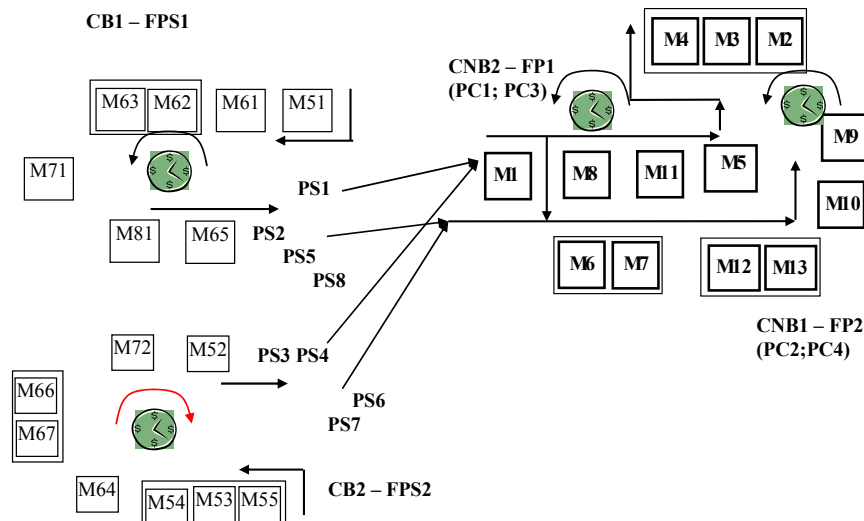


Figura 47. Arranjo alternativo para o SPOP

Como saídas desta actividade tem-se o tipo de implantação intercelular, fluxos e caminhos dos produtos, o sistema de manuseamento intercelular e o custo de manuseamento intercelular dos materiais, os centros de maquinagem multifuncionais e máquinas convencionais, a localização das máquinas partilhadas e incompatíveis, interacções dos fluxos com células vizinhas e o sistema de planeamento e controlo da produção e mecanismos de controlo e coordenação da actividade.

#### 5.4. SÍNTESE - PROJECTO E METODOLOGIA DE SPOP

No projecto de sistemas em geral é importante saber como começar e por onde evoluir e que procedimentos ou meios utilizar para chegar a boas soluções. Por isso, uma metodologia de projecto definindo e encadeando fases de projecto, apontando os elementos necessários e a ter em conta em cada fase, nomeadamente entradas, restrições, mecanismos e métodos, e também clarificando os resultados e/ou saídas de cada fase, é, naturalmente, um instrumento importante, útil e, por vezes, indispensável, ao projecto de sistemas em qualquer domínio. Esta lógica de utilidade aplica-se

naturalmente ao projecto de SPOP principalmente por se tratar de uma tarefa complexa e sujeita a um processo laborioso e iterativo de análise e síntese em várias fases do seu desenvolvimento. Esta complexidade foi sentida mesmo para um caso industrial relativamente simples de estudo de reconfiguração de um sistema de produção de vestuário realizado pela autora e orientador científico desta tese (Silva e Alves, 2003) numa fase inicial da investigação. Durante este estudo foi também perceptível e manifesta a importância que teria a disponibilidade de um sistema de apoio ao projecto que facilitasse não só a aquisição e tratamento de informação de projecto como o processo e passos a implementar para chegar a soluções.

Neste capítulo propôs-se, explanou-se, exemplificou-se e justificou-se a metodologia de Projecto Dinâmico de SPOP designada de GCD. A sua implementação numa empresa, permite chegar a configurações de sistemas produtivos orientados ao produto adequados e consentâneos com o espectro de produtos e com objectivos produtivos e de mercado da empresa.

Como se viu, a metodologia GCD equaciona e orienta o projecto de SPOP em três dimensões de planeamento, nomeadamente o estratégico, o tático e o operacional, correspondentes às três fases sucessivas da metodologia. Embora relacionadas, cada uma destas pode ser realizada de forma independente e em função da dinâmica de inovação da empresa, sendo claro que umas se realizem mais e outras menos frequentemente. Assim, por exemplo, ao nível da configuração genérica de SPOP, mesmo no longo prazo, não são previsíveis alterações importantes à reorganização baseada em SPOP que tenha resultado de estudo aprofundado de engenharia ou reengenharia do sistema de produção usando a metodologia, a menos que o paradigma empresarial de mercado e de produtos se altere radicalmente. Neste caso, poder-se-ia pôr em questão formas de organização produtiva consideradas adequadas e eficientes, havendo eventual necessidade de novos estudos de engenharia industrial que provavelmente poderiam indicar a necessidade de reorganização substancial do sistema produtivo, eventualmente num novo arranjo orientado ao produto. No entanto, atendendo às pressões e dinâmica de mercado actuais, quer de produtos quer da tecnologia, é requisito de sustentabilidade de uma empresa uma grande capacidade e dinâmica de inovação. Esta, quer seja centrada nos produtos quer na tecnologia de produção, acaba por ter um impacto importante nos processos produtivos, requerendo,

por isso, ao nível do Projecto Conceptual, e principalmente do Detalhado, uma grande dinâmica de intervenção com frequentes alterações da configuração do sistema produtivo, tanto na perspectiva operacional como na da reorganização dos seus componentes.

A Figura 48 equaciona a problemática da configuração e reconfiguração de sistemas de produção, i.e. do seu projecto dinâmico, usando a metodologia GCD orientada ao projecto de SPOP, e sintetiza as actividades e os fluxos de informação e decisão necessários em cada fase e a frequência relativa em que são realizadas, perspectivando ainda, a natureza e intervenção dos agentes envolvidos no processo de concepção ou reconfiguração dos sistemas de produção com vista à sua organização ou reorganização em SPOP.

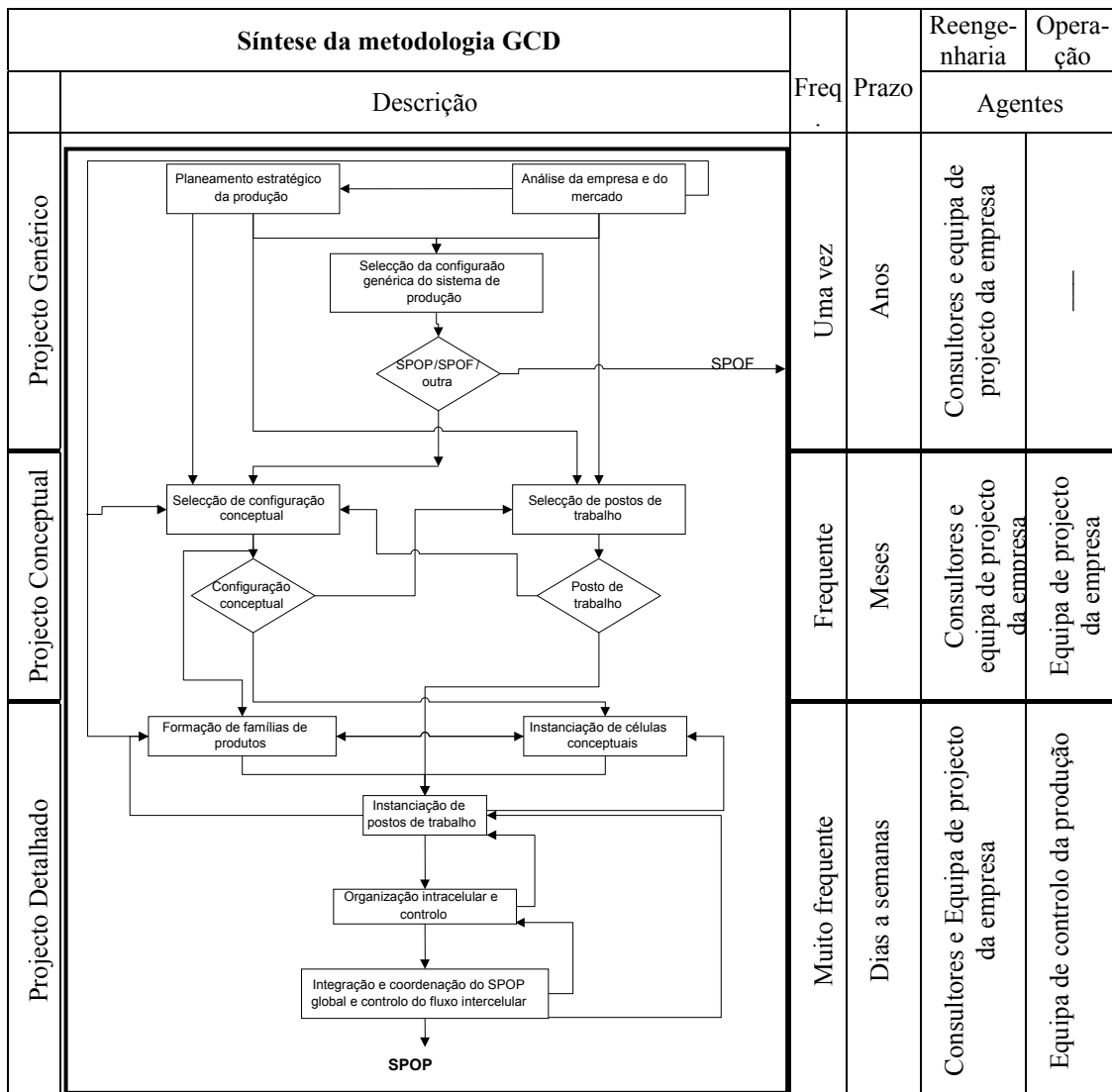


Figura 48. Perspectivas, síntese e agentes de implementação da metodologia GCD de projecto de SPOP



Considerando que a metodologia GCD se desenvolve numa lógica que corresponde a três níveis de organização e gestão associados aos três horizontes de planeamento distintos, como se referiu, nomeadamente o estratégico, o tático e o operacional, é evidente que a implementação de cada uma das suas fases reflecte este horizonte. Assim pode-se em síntese, e de uma forma simplificada, dizer que uma empresa necessita de:

- a) implementar as três fases da metodologia, i.e. Projecto Genérico, Detalhado e Conceptual, quando pretende reavaliar e reorganizar o sistema de produção como um todo, o que implica estudar e previsivelmente reorganizar a sua própria operacionalidade;
- b) implementar as fases de Projecto Conceptual e Detalhado se houver alteração substancial nas quantidades de produção e/ou na “mix” de artigos, i.e produtos compostos e/ou simples, que pretende fabricar no sistema e
- c) implementar o Projecto Detalhado regularmente quando se altera a mistura de artigos, simples ou compostos, a fabricar em cada célula. Isto pode significar, em empresas com grande facilidade de reconfiguração física do sistema, a sua realização quase diária ou semanal para um ajuste “perfeito” entre as necessidades de mercado e a produção. Em empresas em que tal reconfiguração é mais problemática, organizar a produção de forma a minimizar este processo de reconfiguração, explorando sempre que possível a reconfiguração virtual numa perspectiva idêntica à do escalonamento detalhado, parece ser o caminho a adoptar. Isto é viável em arranjos híbridos, i.e. mistos de funcional e orientado ao produto, e facilitado em arranjos do tipo fractal ou holónico, como se referiu na secção 2.4., por disponibilizarem subsistemas alternativos para levarem a cabo o processo de transformação.

## **6. SISTEMA DE APOIO AO PROJECTO DE SPOP BASEADO NA METODOLOGIA GCD**

### **6.1. INTRODUÇÃO**

Conhecidas que são algumas metodologias de projecto de sistemas de produção, algumas muito gerais, outras muito específicas e especializadas, tratando frequentemente apenas parcialmente o projecto de SPOP ou de sistemas híbridos, como referido no capítulo 4, não se pode esperar a existência de um cenário diferente no que concerne à disponibilidade de sistemas de projecto de SPOP assistido por computador. Têm sido relatados modelos e sistemas de apoio assistido por computador ao projecto de sistemas de produção por Kusiak (1988), Mellichamp e Wahab (1987), Kochhar e Pegler (1991), Khan e Day (2002) e Lau e Mak (2004), estes com uma lógica de sistema pericial, e também por Aly e Subramaniam, (1993), Sagi e Chen, (1995), Lee e Stecke, (1996), Cantamessa e Turrone (1997), Kalta et al. (1998), Babic (1999) e Luong et al. (2002). Alguma envolvimento computacional assistida por computador se encontram também nos sistemas e modelos reportados por Baker e Maropoulos (1998a, 1998b 2000); Babu et al. (2000), Saad et al. (2002); Irani et al. (2000), Mahadevan e Srinivasan (2003) e Manzini et al. (2004). Não é do conhecimento da autora existirem referências a metodologias ou aplicações informatizadas deles, especificamente vocacionadas para projecto de SPOP, como são aqui definidos, com a abrangência e contexto em que é considerado neste trabalho de investigação.

Por um lado, é pertinente observar, que a utilização das ferramentas informatizadas relatadas parece ser pequena. De facto, num estudo realizado por Wemmerlöv e Johnson (2000) em empresas que tinham implementado células, os autores relataram que 72% dessas empresas afirmaram ser necessário suporte computadorizado para o processo de projecto de células embora poucas o utilizassem. Outras empresas consideravam ainda que este suporte só era necessário para grandes empresas com mais de 15000 peças, numa lógica de formação de células e não necessariamente de SPOP, e portanto esta necessidade dependia da variedade e complexidade das peças na empresa. Em empresas pequenas, menos de 1000 peças diferentes, o projecto de células não era considerado um problema complexo. Aparentemente, tendo em conta este estudo, e o facto de a autora desta tese não ter encontrado na literatura outro contradizente, parece que apenas uma muito pequena percentagem de empresas faz uso, e aparentemente pouco

frequente, de ferramentas ou de sistemas informatizados de apoio ao projecto de sistemas de produção. Por outro lado, é claro que, quando o faz, é principalmente para a resolução parcial do problema de projecto ou configuração de células, que por isso, para um universo de poucos produtos, não é considerado complexo. Havendo uma variedade grande de produtos e considerando o projecto de SPOP, em todas as suas dimensões, o problema parece ser claramente aceite como sendo de grande complexidade .

Vê-se portanto que não só o problema não é tratado em toda a sua abrangência, como são utilizados métodos manuais de projecto de SPOP, mais precisamente de células, eventualmente não integradas numa lógica de SPOP. Adicionalmente, não é visível que seja aplicada alguma metodologia específica que vá para além das várias abordagens manuais apontadas pela literatura da chamada produção Lean.

Com base nas respostas ao questionário referido na secção 3.7. e em visitas organizadas a empresas da região norte de Portugal da indústria do vestuário e da metalomecânica, a autora deste trabalho constatou que a tarefa de projecto ou reorganização dos sistemas de produção estava a cargo de gestores de produção com experiência ou de empresas de consultoria na domínio da organização industrial, não havendo receptividade à adopção de sistemas ou metodologias de apoio. De uma forma geral ou não usavam nenhuma metodologia estruturada conhecida ou adoptavam variantes do chamado Toyota Production System ajustadas ao sector industrial, geralmente seguidas por empresas de consultoria e aplicadas de uma forma “manual”, i.e. nenhum sistema metodologicamente estruturado de projecto assistido por computador parecia existir.

Pode-se, portanto, concluir que o projecto de SPOP tem-se baseado no essencial na perícia humana e na habilidade de por esta via se chegar a configurações de sistemas aceitavelmente ajustadas ou adaptadas às variações constantes da procura. Esta abordagem, por si só, ao projecto é lenta, ineficaz e tem tendência a introduzir ineficiência na actividade produtiva. Esta abordagem humana manual pode justificar-se quando nenhum sistema de apoio ao projecto de SPOP existe disponível. No entanto, tendo em conta que várias metodologias têm sido propostas relevantes ao projecto de sistemas de produção, como se referiu no capítulo 4, e em particular tendo em conta a proposta feita neste trabalho da metodologia GCD, e considerando ainda que uma grande variedade de métodos existe disponível para ajudar nas fases e actividades de projecto como se referiu ao longo dos capítulos anteriores, não é justificável basear o

projecto de SPOP exclusivamente na perícia humana dos agentes envolvidos e na sua visão de células desconexas, i.e. não integradas numa lógica de SPOP. O uso de sistemas de projecto baseado em aplicações computacionais com interacção humana, seguindo uma metodologia coerente e eficaz é um contributo importante para agilizar o processo de concepção e reconfiguração dinâmica de Sistemas SPOP e melhorar as soluções. Os métodos estão publicados e podem eventualmente ser implementados informaticamente e oferecidos através de serviços web ou residentes em máquinas acessíveis pelo projectista.

Neste capítulo apresenta-se uma proposta e descreve-se um protótipo de um Sistema de Apoio assistido por computador ao Projecto de SPOP (SAP\_SPOP), ainda em fase de desenvolvimento, para o que se envolveu uma equipa de projecto que inclui um membro com formação superior em informática, e a participação esporádica de outros, especificado no âmbito deste projecto de investigação e baseado na metodologia GCD e numa base de métodos quer residentes quer distribuídos e acessíveis pela Internet. Este sistema está sumariamente relatado em Carmo-Silva et al. (2007) tendo a primeira versão do protótipo sido apresentada em Costa (2004) e publicado em Carmo-Silva et al. (2005).

## **6.2. ARQUITECTURA DO SISTEMA DE APOIO AO PROJECTO DE SPOP**

Ainda que a metodologia GCD possa ser importante, a sua utilidade seria pequena se não fosse apoiada por um sistema assistido por computador. É por isso e pelas razões acima apresentadas que se propõe o sistema SAP\_SPOP. No essencial este sistema terá como fim último desenvolver as actividades de projecto de qualquer SPOP, desde o planeamento estratégico à organização e definição de mecanismos de controlo da sua actividade produtiva.

Uma representação esquemática, baseada na metodologia GCD, do sistema SAP\_SPOP é mostrada na Figura 49. Esta mostra os componentes fundamentais do sistema: as bases de dados com os dados de entrada em cada fase e os resultados de cada fase e as bases de dados de métodos com algoritmos, heurísticas e ferramentas que estarão ligados através de um interface. Esta representação relaciona, ainda, o processo de projecto do sistema com as fases da metodologia claramente evidenciando a pretensão de organizar o SAP\_SPOP em três módulos fundamentais de projecto relacionados com

cada uma das três fases do projecto. A interligação e interacção entre os diferentes módulos é assegurada pela base de dados do sistema e mecanismos de acesso a dados.

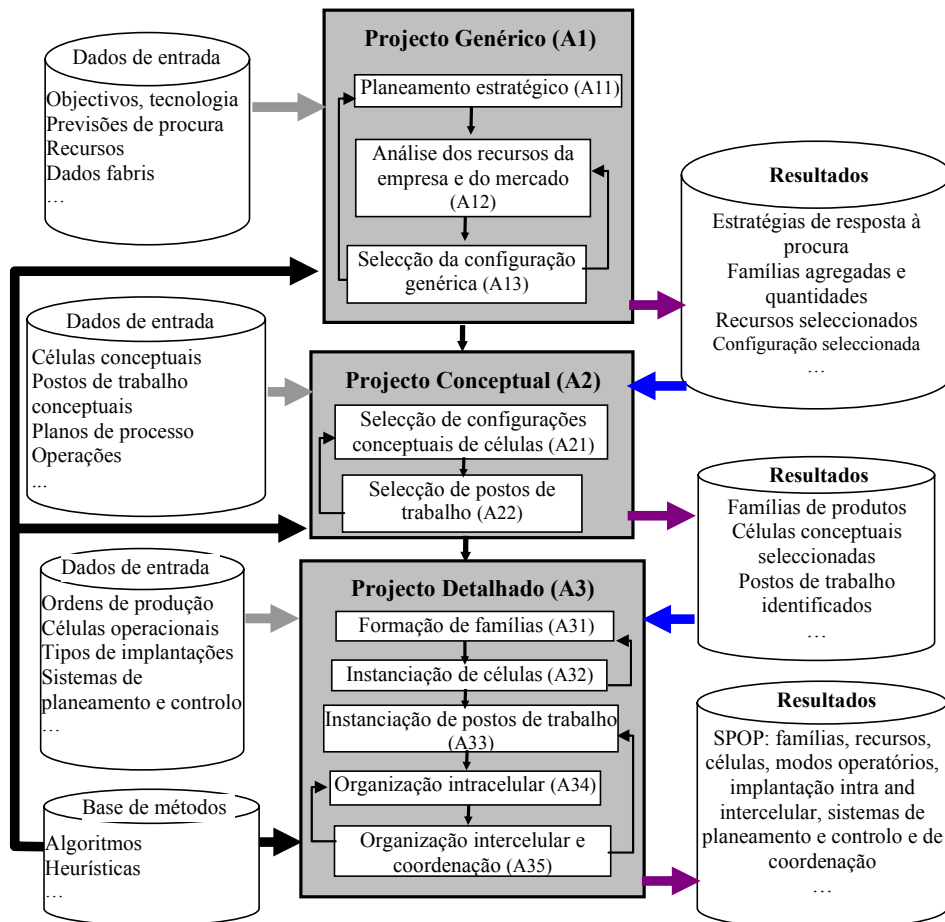


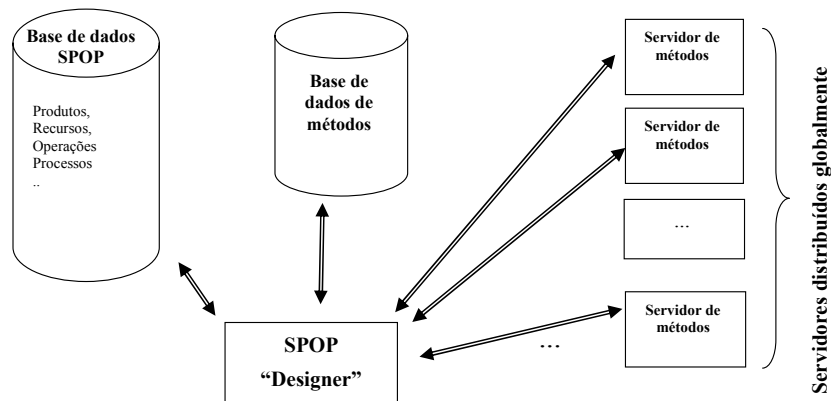
Figura 49. Representação esquemática da arquitectura do sistema SAP\_SPOP

Esta configuração do SAP\_SPOP tem em vista permitir flexibilidade de utilização, possibilitando entrar no sistema através de qualquer módulo, sem necessidade de seguir um processo sequencial envolvendo todas as fases. Isto é naturalmente importante, porquanto que se referiu que cada fase do projecto pode ter de se realizar de forma independente uma vez que a sua necessidade é variável com os objectivos de reconfiguração (secção 5.4.). Por isso é necessário que cada módulo tenha as suas próprias janelas de entrada de dados e de interacção com o utilizador.

O sistema tem em vista a possibilidade de gerar e armazenar diferentes soluções para todas as fases e actividades e permitir a sua utilização nos módulos subsequentes ou antecedentes, i.e. permitir iterações. O sistema deve permitir facilmente obter um conjunto de configurações alternativas para serem avaliadas pelo utilizador. Esta interacção é crucial ao processo de concepção porquanto cabe ao utilizador a decisão

final de ir aceitando e alterando as soluções que vão sendo geradas no processo de projecto pelo apoio dos métodos e pela sua própria interacção. Isto deve estar assegurado pelo ambiente gráfico adoptado, pelo conjunto de ferramentas que permitam a representação de postos de trabalho e de configurações conceptuais e operacionais e de movimentação de objectos, a visualização dos fluxos de materiais e a exibição em tempo real do valor do custo das soluções obtidas.

Uma visão simplificada da arquitectura do sistema é apresentada na Figura 50, que mostra os principais componentes do SAP\_SPOP: base de dados, base de dados de métodos e ligação a servidores de métodos, que podem estar localizados na mesma máquina do SAP\_SPOP ou distribuídos globalmente, através de um módulo interactivo com interface gráfico designado de SPOP “Designer”. Os servidores fornecem serviços ao SPOP “Designer”, realizando as actividades de projecto da metodologia GCD. O SPOP “Designer” recorre à base de métodos, onde é seleccionado o método apropriado à realização da actividade de projecto e à base de dados para o alimentar e nela colocar resultados de projecto úteis a outras fases ou actividades.



**Figura 50. Visão simplificada da arquitectura do SAP\_SPOP**

A construção dos componentes do SAP\_SPOP tem em vista facilitar a utilização por utilizadores com pouca ou nenhuma formação específica do sistema que deve ser assegurada ao nível do desenho do interface gráfico; evitar a rápida obsolescência do software, assegurando a portabilidade do sistema e facilitar a integração de algumas ferramentas ou programas de aplicação no sistema tais como ferramentas matemáticas e ferramentas de gestão de base de dados.

Para concretizar estes objectivos, o sistema foi desenvolvido recorrendo à linguagem Visual Basic .Net 2003 por ser esta uma linguagem de programação muito utilizada em

ambiente gráfico amigável e de domínio generalizado por pessoal ligado ao desenvolvimento e uso de aplicações informáticas. Adicionalmente, utilizou-se, para a representação gráfica na forma de grafos de sequências em diferentes partes do projecto, o *WinGraphviz*, que é uma biblioteca dinâmica<sup>27</sup> desenvolvida com base na ferramenta *Graphviz* da AT&T (Gansner e North, 1999 e Ellson et al., 2005). Esta ferramenta é de domínio publico, podendo ser utilizada de uma forma gratuita no projecto.

## **6.3. COMPONENTES E DESCRIÇÃO DO SISTEMA SAP\_SPOP**

### **6.3.1. Visão global da base de dados**

Perante a quantidade de dados que envolve o funcionamento de uma empresa, as bases de dados são indispensáveis para o armazenamento, a consulta, o acesso, a análise e distribuição dos dados sobre os produtos, recursos, processos, clientes, fornecedores e todas as outras entidades que a empresa pretenda guardar e manipular.

O Microsoft SQL<sup>28</sup> foi o sistema de base de dados escolhido para suportar a base de dados e a sua gestão. Este baseia-se na linguagem SQL que é considerada a mais popular das linguagens de programação destinadas à criação, modificação e consulta de bases de dados e foi adoptada como norma internacional ISO<sup>29</sup> em 1987 (Date e Darwen, 1997). Desta forma pretende-se garantir robustez, desempenho e fiabilidade, requisitos obrigatórios para este sistema que pode em diferentes partes crescer exponencialmente o que deve também estar assegurado.

A base de dados inclui todos os dados relevantes para o projecto de SPOP como são os dados sobre os produtos, sobre os processos de produção e sobre os recursos. Os dados estão organizados para permitir a especificação dos processos de produção numa forma que permita ao utilizador explorar as soluções alternativas de projecto dependentes quer dos recursos disponíveis quer da flexibilidade de processamento. A especificação dos processos, secção 5.1.2.2., é crítica para o sucesso das actividades do projecto. As tabelas necessárias para a modelação dos dados de forma a suportar a complexidade de um SPOP, estão apresentadas na Figura 51.

---

<sup>27</sup> Dynamic link library (dll)

<sup>28</sup> Structured Query Language

<sup>29</sup> International Organization for Standardization





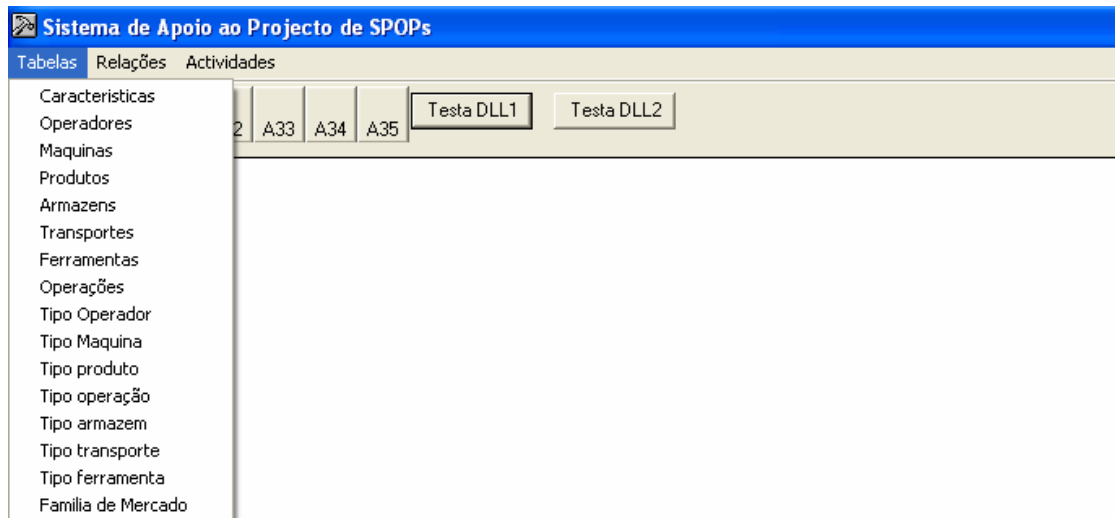
De forma a conseguir especificar os planos de processo e, por último, os roteiros de de fabrico do produto, as operações dos produtos têm de ser especificados. No SAP\_SPOP, estas operações resultam da instanciação de operações genéricas, de acordo com a transformação física ou montagem requerida para produzir o produto. Este processo de instanciação é assegurado pelo utilizador que se baseia nos atributos e parâmetros das operações. O resultado é introduzido na base de dados para o projecto de SPOP. Estes dados são reutilizados para vários problemas de projecto no mesmo ambiente tecnológico de produção se esta se repete. Estes dados são também utilizados pelo utilizador que interagindo com os métodos de projecto pode escolher os planos operatórios, os planos sequenciais e, por último, os roteiros. Num ambiente de produção de vestuário, por exemplo, operações genéricas são o corte, costura e bordado. Atributos e parâmetros das operações, por exemplo, incluem o número de agulhas, o número de linhas, o tipo de máquina e o tipo de operador. Assim as características de processamento associadas a cada operação de fabrico de cada produto são relacionadas com as características específicas de cada máquina permitindo ao utilizador uma escolha apropriada da máquina para a operação.

Para sistematizar o procedimento de especificação do processo de produção foi definida uma tabela para especificar os atributos e parâmetros das operações designada de tabela “Características”. Assim as operações do processo de produção de cada produto são relacionadas através de uma tabela de características específicas como o tipo de máquina necessário para a operação permitindo que ao utilizador sejam apresentadas todas as máquinas disponíveis para uma dada operação, flexibilizando este processo (ver detalhes na secção 6.3.3. de relacionamento entre tabelas). As tabelas mais importantes são descritas de seguida através dos formulários base implementados no SAP\_SPOP.

### **6.3.2. Tabelas principais da base de dados**

No estado actual de desenvolvimento do SAP\_SPOP, o modelo de dados possui 16 tabelas principais, Figura 52, correspondendo a cada uma, um formulário base para introdução e/ou manipulação de dados. Estas estão relacionadas com os produtos, com os processos de produção e com os recursos. Todos os formulários apresentados nas figuras a partir desta secção representam o SAP\_SPOP instanciado para o caso estudado

e publicado em Silva e Alves (2003) da confecção de vestuário onde foi aplicada a metodologia.



**Figura 52. Formulário para aceder às tabelas para introdução de dados no SAP\_SPOP**

Para a definição dos produtos são necessárias três tabelas: 1) uma para definir de que tipo é o produto, i.e., se é um produto simples (peça) ou um produto composto, designado de referência no caso industrial aplicado, 2) outra para identificar a que família de mercado, no caso do vestuário de roupa de bebé as famílias de mercado são fatos de bebé, jardineiras, macacões e outras, pertence o produto inserido e, finalmente, 3) a tabela “Produtos”.

Para a definição dos processos de produção são necessárias duas tabelas: a das operações e do tipo de operação. Na tabela das operações são inseridas as operações genéricas, Figura 53, já referidas e na tabela do tipo de operações são listadas quatro tipos de operações: de processamento, de inspeção, de transporte e de armazenagem para que estas sejam mais tarde associadas ao recurso para as executar.

Os recursos operadores, máquinas, armazéns, transportes, ferramentas, e os tipos respectivos são definidos nas restantes tabelas. Destes recursos, os operadores e as máquinas requerem especial atenção. Na tabela “Operadores” interessa associar aos operadores competências em cada máquina e o nível de competência para seleccionar aqueles que melhor desempenhem numa máquina específica ou que saibam manusear várias máquinas, i.e. polivalentes.

A tabela “Máquinas”, Figura 54, inclui uma lista de todas as máquinas que podem ser usadas para projectar ou reconfigurar o SPOP. Esta inclui não apenas as disponíveis na

empresa mas também que podem ser adquiridas se necessário através da compra, empréstimo ou aluguer. As máquinas que possam ser adquiridas no mercado também devem ser listadas.

**frmOperacoes**

id : 01

Designação : Corte e cose

Tipo : processamento 01

Familia :

1 of 18

Novo Actualizar Apagar Cancelar Gravar

id	designacao
01	processamen
02	armazenage
03	transporte
04	inspecção

id	designacao	familia	tipo
01	Corte e cose	(null)	01
02	Franzir	(null)	01
03	Pregar	(null)	01
04	Fematar e re	(null)	04
16	Marcar molas	(null)	01
18	Bordar frente	(null)	01
05	Meter vivo	(null)	01
06	Ponto Corrido	(null)	01
07	Recobrir	(null)	01
08	Meter clorete	(null)	01
09	Mosquear	(null)	01
10	Meter elástico	(null)	01
11	Fazer baínha	(null)	01
12	Casear	(null)	01
13	Coser etiquet	(null)	01
14	Pregar molas	(null)	01
15	Prensar	(null)	01
17	Apertar mola	(null)	01

Figura 53. Formulário “Operações”

**Máquinas**

id : 01

Designação : CC1

Gerais Físicas

Custo hora : Existe disponível :

Tipo de máquina : Máquina de Corte e Cose 01

Custo de aquisição :

Tipo de posto :

Interno : Custo de deslocação :

1 of 79

Novo Actualiza Apagar Cancelar Gravar

id	designacao
01	Máquina de C
02	Máquina de P
03	Máquina de C
04	Máquina de e
05	Máquina de c
06	Máquina de p
07	Máquina de p
08	Máquina de
09	Prensa

id	designacao	custohora	disponivel	tipo	custoaquisica	tiporecurso	peso	facilidade demov	altura	largura
01	CC1	(null)	(null)	01	(null)	(null)	(null)	(null)	(null)	(null)
02	CC2	(null)	(null)	01	(null)	(null)	(null)	(null)	(null)	(null)
03	CC3	(null)	(null)	01	(null)	(null)	(null)	(null)	(null)	(null)
04	CC4	(null)	(null)	01	(null)	(null)	(null)	(null)	(null)	(null)
05	CC5	(null)	(null)	01	(null)	(null)	(null)	(null)	(null)	(null)
06	CC6	(null)	(null)	01	(null)	(null)	(null)	(null)	(null)	(null)
07	CC7	(null)	(null)	01	(null)	(null)	(null)	(null)	(null)	(null)
08	CC8	(null)	(null)	01	(null)	(null)	(null)	(null)	(null)	(null)
09	CC9	(null)	(null)	01	(null)	(null)	(null)	(null)	(null)	(null)

Figura 54. Formulário “Maquinas”

A tabela “Características” faz a ligação entre as operações de um produto e as máquinas necessárias para os fazer. Na Figura 55 são inseridas todas as características que possam instanciar as operações genéricas, sendo especificadas pelo utilizador de acordo com o produto seleccionado e a operação escolhida. Na tabela “Maquinas” apresentada na Figura 54 existe um botão “Características” que permite afectar a cada uma das máquinas as características específicas de cada máquina, Figura 56.

id	designacao
01	Têxtil
02	Metalomecã

Código	Designação	Tipo de Característica	Tipo de dados	Tipo de medida
01	Nºagulhas	Têxtil	Intervalo	CarMáq
02	MáqCC	Têxtil	Verdadeiro/Falso	TipoMáq
12	MáqPC	Têxtil	Verdadeiro/Falso	TipoMáq
14	MáqCLMan	Têxtil	Verdadeiro/Falso	CarMáq
16	MáqCL	Têxtil	Verdadeiro/Falso	TipoMáq
17	SemMáq	Têxtil	Verdadeiro/Falso	metros
19	MáqCA	Têxtil	Verdadeiro/Falso	TipoMáq

Figura 55. Formulário “Características”

id	designacao
01	Máquina de C
02	Máquina de P
03	Máquina de C
04	Máquina de e
05	Máquina de c
06	Máquina de p
07	Máquina de p
08	Máquina de
09	Prensa

id	maquina	caracteri	minimo	maximo
0	01	01	1	2
29	01	08	1	4
30	01	03	0	(null)
191	01	02	0	(null)

id	designacao	tipodados	tipo	tipc
01	Nºagulhas	02	01	03
02	MáqCC	01	01	02
12	MáqPC	01	01	02
14	MáqCLMan	01	01	03
16	MáqCL	01	01	02
17	SemMáq	01	01	02

Figura 56. Botão “Características” do formulário “Maquinas”

A tabela “Produtos”, Figura 57, é, sem dúvida, a tabela mais importante do sistema pois todos os produtos a produzir, quer as peças cortadas quer as referências são aqui introduzidas.

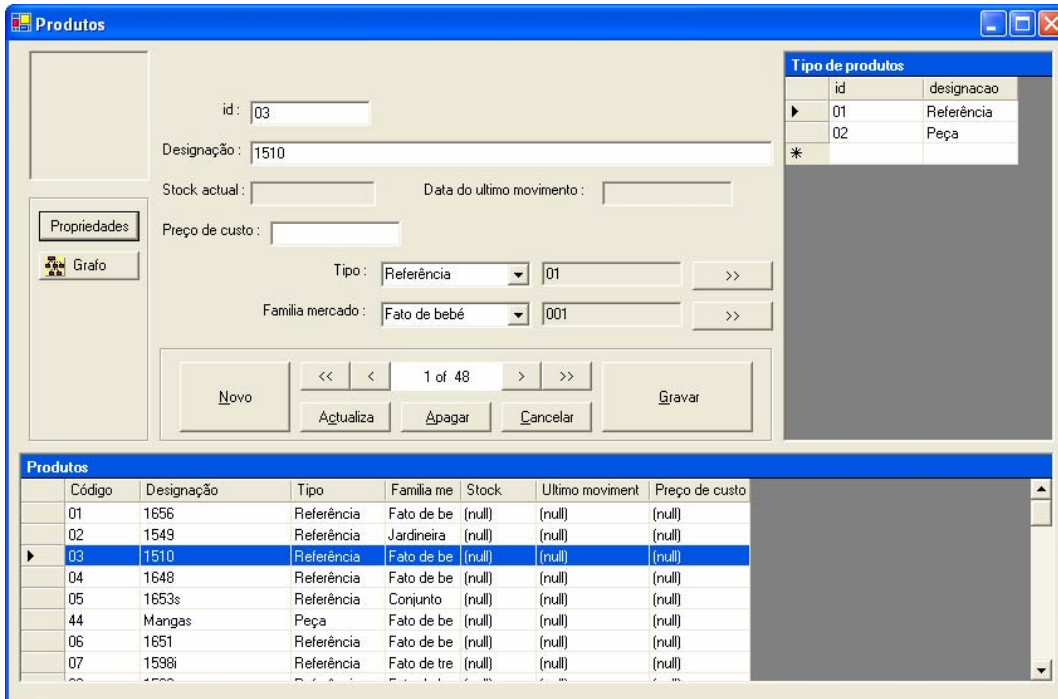


Figura 57. Formulário “Produtos”

É nesta tabela que se relaciona cada um dos produtos com as operações e os recursos necessários para os produzir através do botão “Propriedades” que dá acesso a outra janela com cinco separadores, Figura 58.

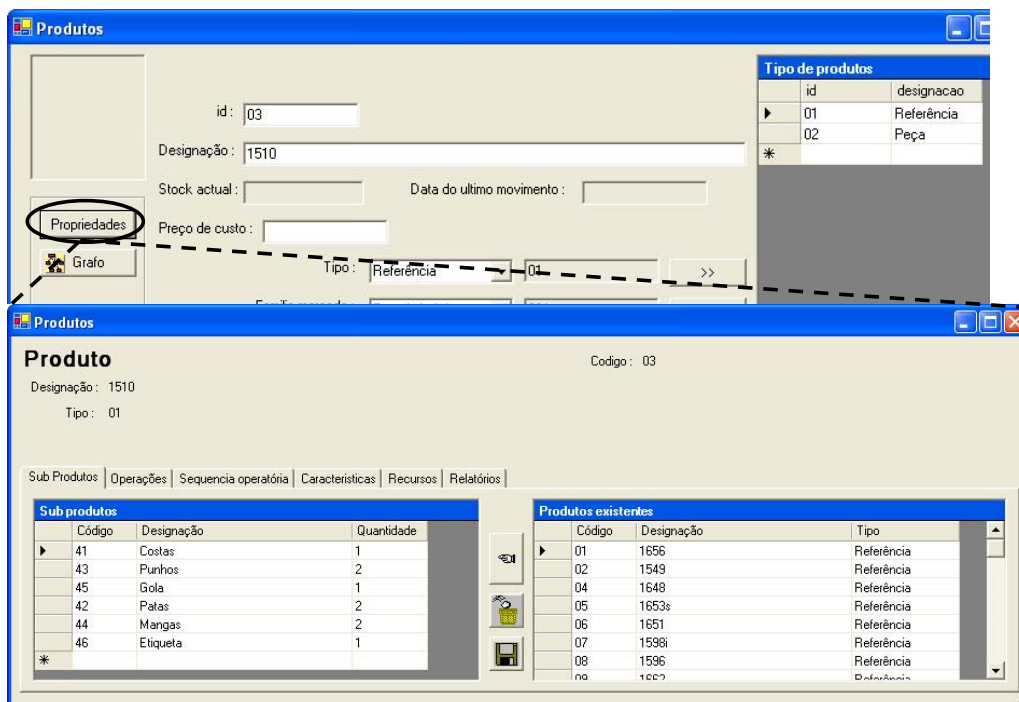


Figura 58. Propriedades do produto

À excepção do separador “Relatórios” todos os outros são para especificação dos relacionamentos entre os produtos e os subprodutos, as operações específicas e os recursos que são descritas na secção seguinte.

### 6.3.3. Relacionamento entre tabelas

O separador “Subprodutos” permite relacionar o produto seleccionado com os produtos já inseridos, seleccionando o utilizador os subprodutos e a quantidade que constituem o produto final. Esta relação permite depois a construção automática da lista de materiais, basta para isso que o utilizador carregue essa relação através da relação “Produto <-> Produto”, Figura 59.

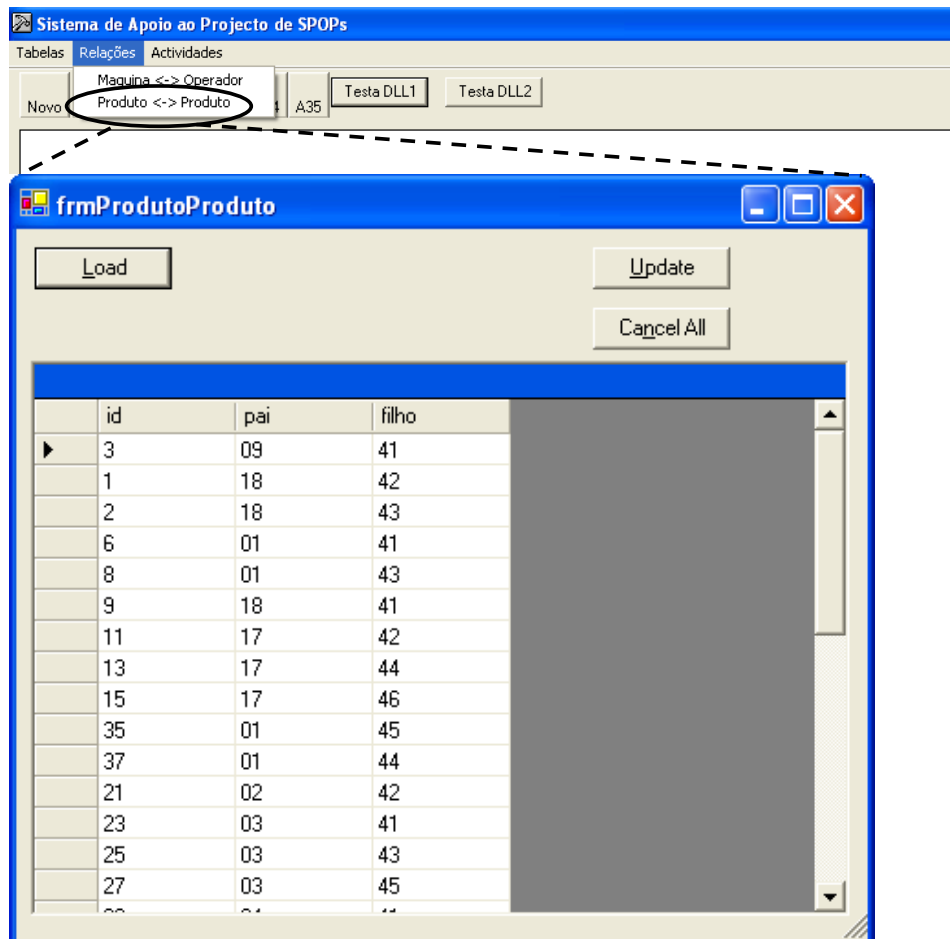


Figura 59. Lista de materiais

A relação “Maquina <-> Operador” ainda não está implementada mas vai poder relacionar as máquinas com os operadores capazes de as manusear com o grau de competência em cada máquina. O resultado que virá numa matriz será útil para o

utilizador escolher os operadores mais adequados para uma dada tarefa envolvendo uma máquina específica.

Outras relações importantes são a afectação das operações aos produtos, a definição da sequência operatória para cada produto e a afectação das máquinas às operações. Para afectação das operações aos produtos é apresentada ao utilizador uma listagem com as operações genéricas existentes na base de dados, Figura 60. O utilizador selecciona as pretendidas para o produto em causa, dá-lhe uma designação específica e o tempo de referência da operação.

Produtos

Produto

Designação : 1510

Tipo : 01

Codigo : 03

Sub Produtos | Operações | Sequencia operatória | Características | Recursos | Relatórios

Operações selecionadas					Operações existentes		
Codigo	Designação	Designação específica	Tipo	Tempo	Codigo	Designação	Tipo
01	Corte e cose	Preparar punhos	processamento	38	01	Corte e cose	processamento
01	Corte e cose	Peito	processamento	39	02	Franzir	processamento
01	Corte e cose	1/2 patas + reforço	processamento	50	03	Pregar	processamento
08	Meter clorete	Costas	processamento	23	04	Rematar e revistar	inspeção
01	Corte e cose	Mangas Costas	processamento	44	16	Marcar molas	processamento
01	Corte e cose	Fechar lados	processamento	70	18	Bordar frente	processamento
01	Corte e cose	Patas	processamento	44	05	Meter vivo	processamento
01	Corte e cose	Gola + etiqueta	processamento	46	06	Ponto Corrido	processamento
03	Pregar	Cravar decote	processamento	46	07	Recobrir	processamento
04	Rematar e revistar	(null)	inspeção	75	08	Meter clorete	processamento
14	Pregar molas	Macho	processamento	13	09	Mosquear	processamento
17	Apertar molas	(null)	processamento	22	10	Meter elástico	processamento
01	Corte e cose	Preparar gola	processamento	18	11	Fazer bainha	processamento
01	Corte e cose	Fazer machos peito	processamento	31	12	Casear	processamento
01	Corte e cose	Fazer machos fundo 1	processamento	52	13	Coser etiqueta	processamento
01	Corte e cose	Mangas frente	processamento	44	14	Pregar molas	processamento
01	Corte e cose	Chulear asas	processamento	24	15	Prensar	processamento
01	Corte e cose	Ombros	processamento	42	17	Apertar molas	processamento
01	Corte e cose	Fechar entre pernas	processamento	30			
01	Corte e cose	Punhos	processamento	38			
08	Meter clorete	Decote	processamento	36			
03	Pregar	Laços	processamento	38			
16	Marcar molas	(null)	processamento	34			
14	Pregar molas	Fêmea	processamento	19			
15	Prensar	(null)	processamento	8			

Figura 60. Formulário para selecção, afectação e instanciação de operações para o produto

Definidas as operações específicas pode estabelecer-se a sequência operatória no separador respectivo. Para estabelecer a sequência é necessário informação sobre a constituição do produto, lista das operações e respectiva sequência. A Figura 61 mostra o formulário para definir a sequência operatória das operações pertencentes a um produto.



The image displays a software interface for defining a production sequence. It consists of three main windows:

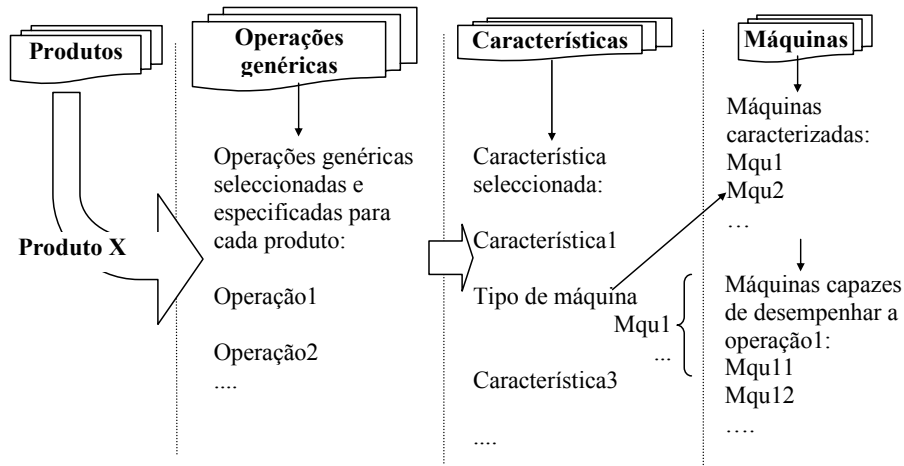
- Produtos (Product):** Shows product details (Designação: 1510, Tipo: 01, Código: 03) and a list of operations. The 'Sequencia' window shows a table with columns 'Antes', 'Depois', and 'Operações selecionadas'. The 'Operações selecionadas' window shows a list of selected operations with columns 'Codigo', 'Designação', 'Designação específica', 'Tipo', and 'tempo'.
- Sequencia operatória do produto : 1510:** A flowchart showing the sequence of operations. The sequence starts with '01: Corte e cose, Fazer machos peito' and continues through '01: Corte e cose, Peito', '01: Corte e cose, Fazer machos fundo 1/2 patas', and '01: Corte e cose, Mangas Costas'. A branch from '01: Corte e cose, Fazer machos fundo 1/2 patas' leads to '08: Meter clorete, Costas', which then leads to '01: Corte e cose, Mangas Costas'.
- Sequencia operatória do produto : 1510:** A detailed flowchart showing the sequence of operations in a more complex, interconnected manner.

Figura 61. Formulário para definição da sequência operatória e visualização do grafo correspondente

Neste formulário, define-se precedências, ou seja, numa relação de duas operações diz-se qual é a que tem de ser feita antes da outra. Esta relação pode ser definida pela ordem que se quiser, possibilitando assim uma inserção no fim de uma operação inicial. Este formulário possibilita ainda que o utilizador verifique visualmente através de um grafo se a sequência que introduziu está bem definida ou não.



A Figura 62 mostra a instanciação das operações genéricas a um produto específico e selecção das máquinas que podem fazer cada operação instanciada.



**Figura 62. Instanciação das operações genéricas e afectação de máquinas para um produto específico**

Todas as máquinas têm atributos e parâmetros que são listadas na tabela “Características” já referida. Deste modo tanto as operações dos produtos como as máquinas no sistema partilham a mesma tabela de características para a sua caracterização ou definição, Figura 63.

Código	Característica	Valor(mi)	máximo
130	MáqPC	0	(null)

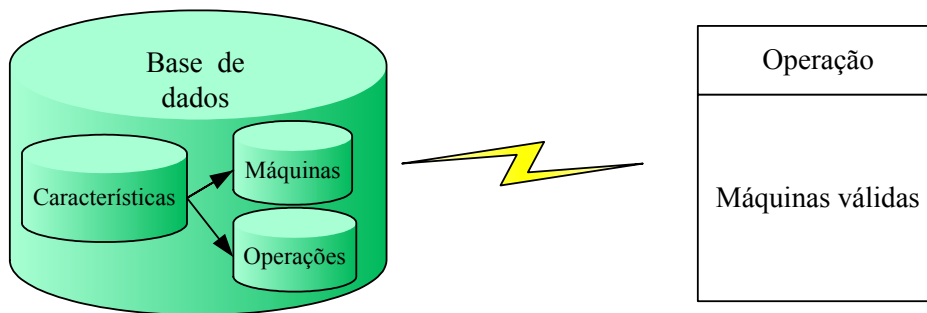
Código	Designação	Tipo de dados	Tipo de me...
01	NFagulhas	Intervalo	CarMáq
02	MáqCC	Verdadeiro/Fa	TipoMáq
12	MáqPC	Verdadeiro/Fa	TipoMáq
14	MáqCLMan	Verdadeiro/Fa	CarMáq
16	MáqCL	Verdadeiro/Fa	TipoMáq
17	SemMáq	Verdadeiro/Fa	metros
19	MáqCA	Verdadeiro/Fa	TipoMáq
21	MáqMD	Verdadeiro/Fa	TipoMáq
23	MáqPI	Verdadeiro/Fa	TipoMáq
25	MáqPRPequena	Verdadeiro/Fa	CarMáq
03	MáqCCComApF	Verdadeiro/Fa	CarMáq
04	MáqCCComAp	Verdadeiro/Fa	CarMáq
05	MáqProgCC	Verdadeiro/Fa	CarMáq
06	MáqCCProgLim	Verdadeiro/Fa	CarMáq
07	MáqCCColEtiqu	Verdadeiro/Fa	CarMáq
08	NRLinhas	Intervalo	metros
09	MáqPCProg	Verdadeiro/Fa	CarMáq
10	MáqPCAcliocint	Verdadeiro/Fa	CarMáq
11	MáqPCApMosq	Verdadeiro/Fa	CarMáq
13	MáqCLAut	Verdadeiro/Fa	CarMáq

**Figura 63. Formulário para selecção e afectação das características às operações do produto**

Ao carregar no separador “Características” são apresentadas ao utilizador três listagens, este apenas preenche a listagem do meio, i.e., selecciona para cada operação as características respectivas. Por exemplo, para a operação pregar, cravar decote é

necessária uma máquina de ponto corrido, logo o utilizador deve seleccionar a característica MáqPC, que é o tipo de máquina. Se esta operação tivesse ainda outras características o utilizador escolheria as adequadas.

Esta abordagem de definição das máquinas e das operações permite identificar, através de um processo de correspondência – *matching* - que máquinas podem fazer que operações, Figura 64. Este processo juntamente com os planos operatórios já definidos permite escolher os roteiros dos produtos. Estes são centrais à especificação e projecto do SPOP. Sempre que um SPOP vá ser usado para produzir vários produtos, os seus requisitos de processamento devem ser simultaneamente tomados em consideração para tal escolha devido à limitação de recursos.



**Figura 64. Representação esquemática da selecção de máquinas para as operações**

Nos separadores “Recursos” e “Máquinas” o utilizador selecciona uma operação qualquer e o sistema procura todas as máquinas que contenham as características predefinidas da operação e mostra automaticamente uma listagem de máquinas válidas para executá-la. Neste separador o utilizador pode mudar a capacidade da máquina e atribuir um valor igual ou inferior a 100 % e o tempo efectivo da operação altera-se, mantendo-se ou aumentando, respectivamente, Figura 65.

A selecção posterior de uma máquina para uma dada operação na actividade de instanciação de postos de trabalho pode basear-se no critério de seleccionar a máquina mais capaz, escolhendo das máquinas disponíveis as de capacidade 100%.

Embora existam outras tabelas associadas a formulários não apresentados aqui, elas estão de uma forma directa ou indirecta relacionadas com as que se apresentaram pois estas são as representativas do modelo de dados, onde assenta a lógica do sistema SAP\_SPOP.

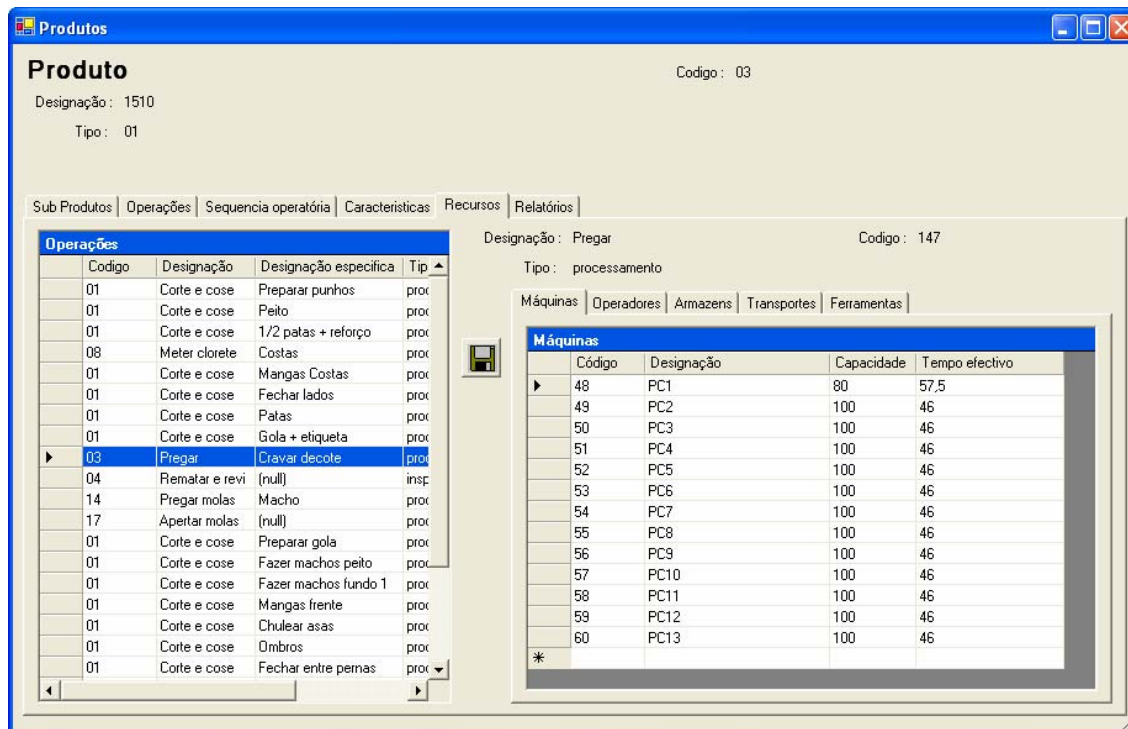


Figura 65. Formulário que mostra as máquinas válidas para cada operação

## 6.4. INTERFACES

O interface com o utilizador, apresentado parcialmente na Figura 66, permite desempenhar várias tarefas. A mais importante é a introdução dos dados iniciais para o projecto do sistema relacionados quer com a lógica da metodologia de projecto quer com os objectos como os produtos, as operações e os recursos de vários tipos que estão disponíveis para configuração ou reconfiguração do sistema de produção. Isto é instrumental para a principal função do utilizador que é usar os métodos no processo de projecto tendo em conta todas as restrições e os recursos disponíveis. Adicionalmente, o utilizador tem um papel relevante na selecção dos métodos de apoio ao projecto a usar para suportar as fases de projecto. Isto significa que o utilizador deve ter uma ideia clara das necessidades, objectivo, papel e utilidade de cada método de forma a ser capaz de os aplicar de acordo com as necessidades do processo de projecto.

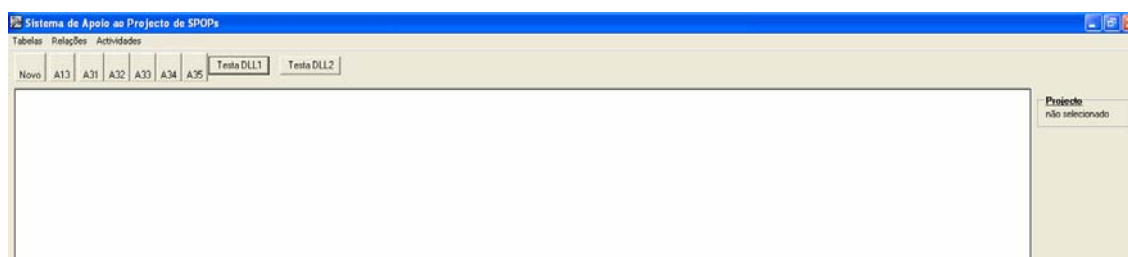


Figura 66. Interface principal com o utilizador

## 6.5. BASE DE MÉTODOS

A base de métodos pode ser vista como uma base de conhecimento providenciando os métodos a serem usados em fases diferentes do projecto do SPOP. No estado de desenvolvimento actual do SAP\_SPOP, esta base apenas contém um pequeno número de métodos e regras que podem ser executados para resolver alguns problemas do projecto do SPOP. A quantidade de métodos de apoio ao projecto implementados que podem ser usados pelo projectista é ainda pequeno e deve ser expandida no futuro.

### 6.5.1. Implementação de critérios para o Projecto Genérico

Para modelar a actividade da selecção da configuração genérica do sistema de produção - A13 - da fase do Projecto Genérico foi construído o formulário da Figura 67, com base na especificação da Tabela 12 (critério 1) para que utilizador insira os valores e o sistema SAP\_SPOP recomende a configuração do sistema de produção mais adequado às condições do ambiente produtivo específico.

The screenshot shows a window titled 'frmA13' with the following elements:

- Project name: '01' and 'Teste 1'
- Criteria section with input fields:
  - Variedade de produtos (P): 500
  - Tempo de produção médio por unidade (Tp): 5
  - Quantidade de produção anual (Q): 20000
  - Horas de trabalho num dia normal (HT): 8
  - Semanas de Trabalho (ST): 55
  - Dias de trabalho anuais (DT): 220
  - Quantidade de turnos (Qturnos): 1
  - Processos principais: 5
  - Tempo de dedicação (funcionamento) em média do sistema a um produto: 20
  - Tempo necessário para reconfigurar para outro produto (Tr): 5
- Summary section:
  - Q/P = 400
  - TPA = 36,3636363
  - Carga diária = 9,090909090
  - Buttons: 'Button2', '=> SPOP(Cel)', and 'OK'
  - Labels: 'Médio' (twice)

Figura 67. Formulário para ajuda na selecção de um sistema de produção

### 6.5.2. Métodos para actividades do Projecto Detalhado

No âmbito de um projecto proposto em co-autoria com a proponente desta tese e cujo resultado foi publicado em Carmo-Silva et al. (2007) deu-se continuidade à construção da base de métodos através do desenvolvimento de um menu de métodos adicionado ao

interface principal, Figura 68, e que é implementado através do SPOP “Designer” já referido na secção 6.1., Figura 50.

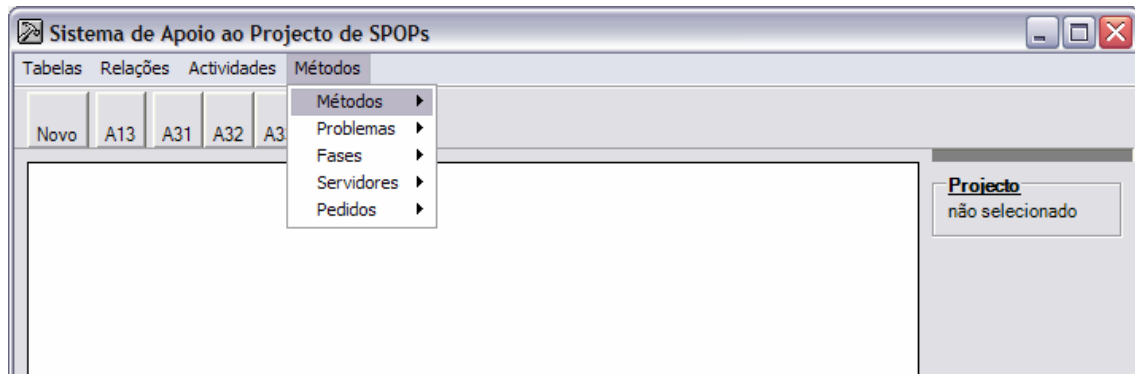


Figura 68. Interface principal com o menu “Métodos”

Neste projecto abordaram-se duas componentes da base de métodos: o acesso e utilização dos métodos e um servidor de métodos que os disponibilizam. A primeira, considerada o motor do sistema, permite a gestão de métodos, i.e., adicionar, alterar, remover e listar os métodos, Figura 69, a gestão dos problemas relacionada com o tipo de problema que o método vai resolver e para que fase ou actividade (gestão de fases). Além destas, permite ainda seleccionar o servidor e efectuar os pedidos para resolução de um problema por um método.

Figura 69. Formulário para gestão dos métodos

No pedido, representado no formulário da Figura 70, escolhe-se o método, o servidor e os dados de entrada numa matriz 0/1 e envia-se para o servidor que pode estar em máquinas remotas.

**Figura 70. Formulário para o pedido**

O servidor cujo formulário está na Figura 71, inicializado na mesma ou numa outra máquina, recebe o pedido e resolve o problema utilizando o método pedido.

**Figura 71. Formulário do servidor**

É possível configurar novos métodos no servidor carregando para o efeito na opção “Configurar métodos” que disponibiliza o formulário da Figura 72.

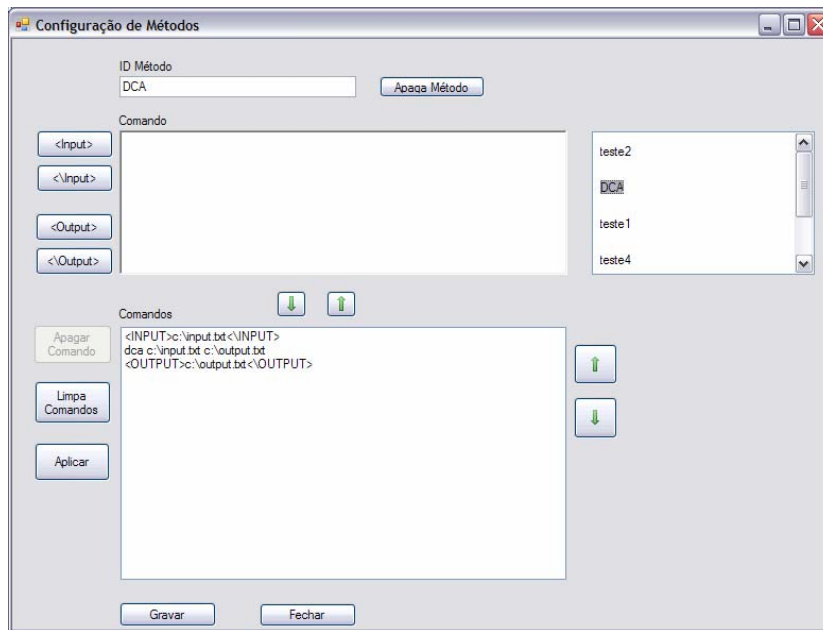


Figura 72. Formulário para configurar métodos

De modo a utilizar os métodos na resolução de um problema, o servidor deve estar em execução numa determinada máquina, com um determinado endereço IP acessível pela Internet. Através do interface principal, Figura 66, acede-se a um formulário para o arranque da primeira actividade, formação das famílias de produtos - A31 - da terceira fase, o Projecto Detalhado - A3. Este formulário é apresentado na Figura 73, onde o utilizador tem de seleccionar os produtos que vão fazer parte da análise para esta actividade, depois pode escolher os tipos de máquinas que estão disponíveis no sistema. Finalmente carrega no botão “Seguinte”, para passar para o arranque do método.

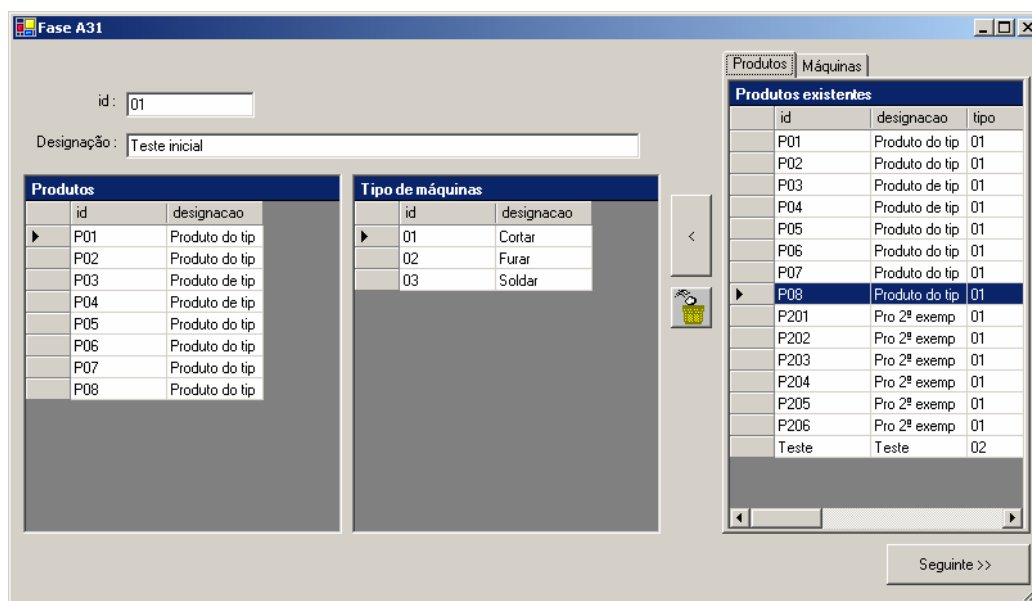


Figura 73. Formulário do arranque da actividade A31

Embora existam muitos métodos para a formação de famílias de produtos (Apêndice C), os métodos integrados neste trabalho por serem de simples implementação foram os métodos “*Single Linkage Clustering*” (SLC) e o “*Direct Clustering Algorithm*” (DCA), que procuram a similaridade entre produtos por análise do equipamento necessário comum ao seu fabrico procurando, desta forma identificar famílias de produtos na base da mesma ou similar necessidade de máquinas entre eles.

No arranque dos métodos referidos, e para uma grande parte dos métodos utilizados nesta actividade, é necessário a matriz 0/1 ou de incidência máquinas/produtos que o sistema constrói usando uma tabela que é preenchida automaticamente com o tipo de máquinas necessárias para fazer as operações dos produtos seleccionados. A construção desta tabela é realizada usando o mecanismo descrito anteriormente da afectação das máquinas às operações. Pode-se consultar um exemplo dessa tabela preenchida na Figura 74.

id	projecto	produto	tipomaquina	valor
0		P01	01	1
1		P01	03	1
2		P01	06	1
3		P01	03	1
4		P02	01	1
5		P02	03	1
6		P02	06	1
7		P03	02	1
8		P03	03	1
9		P03	05	1
10		P03	02	1
11		P04	02	1
12		P04	04	1
13		P04	05	1
14		P06	03	1
15		P06	02	1
16		P07	02	1
17		P07	05	1
18		P07	04	1
19		P201	01	1
20		P201	03	1
21		P203	04	1
22		P203	02	1
23		P203	05	1
24		P202	01	1
*				

Seguinte >>

**Figura 74. Tabela da matriz 0/1 ou de incidência**

Executando novamente “Seguinte” escolhe-se o problema a resolver e selecciona-se o método específico a aplicar. Se este existir em mais que uma máquina distinta, tem-se ainda que escolher a qual dos servidores faz-se o pedido. Obviamente, estas escolhas têm implícito um certo conhecimento sobre a concepção de SPOP assim como o



funcionamento dos métodos invocados e sua localização. A matriz máquinas/produtos que resultou das escolhas feitas é então transformada para o formato que o método escolhido requer. Finalmente, depois de gerado o pedido de resolução de um problema, obtem-se um formulário semelhante ao exibido na Figura 70, carregando na opção “Resolver”. Se a resolução tiver sucesso, comuta-se para “Output” no separador “Dados” e observa-se os resultados devolvidos pelo método, Figura 75. A solução mostra a formação de duas células.

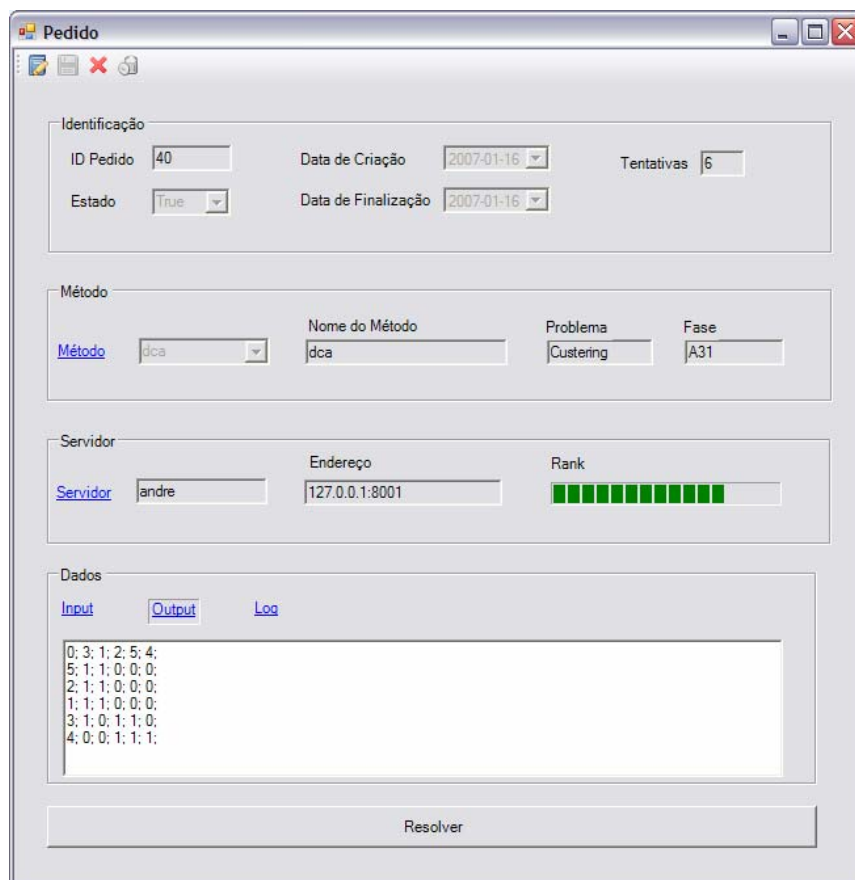


Figura 75. Apresentação da solução pelo método DCA

As soluções apresentadas pela implementação dos métodos SLC e DCA ainda não são devolvidas ao SAP\_SPOP e utilizadas como dados de entrada às actividades seguintes.

Paralelamente a este desenvolvimento, foram ainda implementados outros métodos para apoio à realização de outras actividades da fase do Projecto Detalhado, nomeadamente, o método de Wild ou de carga agregada e peso posicional (Wild, 1972) para balanceamento das células - A33 - e o método de CRAFT para a organização intracelular - A34 - e desenvolvidos algoritmos para a afectação de operadores às

células e máquinas atendendo às suas competências e para sequenciação e lançamento das peças nas células descritos em Silva (2004).

Os algoritmos foram, depois, testados, com pequenos exemplos que usam as tabelas criadas no seu desenvolvimento mas não foi possível fazer ainda a integração dos algoritmos na aplicação pois o estado de desenvolvimento desta não o permitiu.



## **7. CONCLUSÃO**

### **7.1. VALIDADE DO CONCEITO SPOP**

Uma questão de investigação importante era a de saber se os SPOP teriam viabilidade na presente e na futura forma de funcionar das empresas de produção de produtos discretos. Chegados ao fim deste projecto de investigação fica claro, pelo exposto nos capítulos desta tese que as vantagens de adopção de SPOP parece inquestionável. Primeiro porque a prática industrial se orienta actualmente bastante neste sentido e já reconhece efectivas vantagens neste modo de organização. Segundo porque se trata de facto de um avanço positivo às recomendações de autores consagrados tais como Skinner (1974), Monden (1983), Burbige (1989), Black (1991), Suri (1998), Hyer e Wemmerlöv (2002) entre outros que claramente vêm defendendo há décadas e demonstrando, que a organização dos sistemas focados e/ou organizados em células, dedicadas a produtos específicos ou famílias de produtos similares, se traduz em vantagens competitivas, em relação à organização funcional e tipicamente não focada, e deve ser o caminho a seguir na organização produtiva das empresas.

Estas duas envolventes, i.e. focagem e organização celular da produção, são características inerentes aos SPOP. O avanço positivo tem a ver com o facto de que no SPOP é assumida e procurada a interligação sincronizada de células complementares, no processo de fabrico do produto. Visam assim os SPOP não só a focagem no produto e a organização celular mas também a exploração da lógica central ao sucesso da organização OPT – Optimized Production Technology - avançada por Goldratt e Fox (1990) em que o output deve ser medido em produto final fornecido/vendido ao cliente, assumindo que produtos em curso ou stock representam despesas ou prejuízos e não output ou benefícios. Quer isto dizer que todos os componentes de um produto ou ordem de produção, devem ser sincronizados e coordenadamente produzidos para serem rapidamente montados e se obter o produto acabado final para sua colocação rápida no cliente. O foco é no bom funcionamento do sistema com o propósito de prestação de bom serviço ao cliente e não só na eficiência do sistema em termos da sua utilização e poupança de tempos de preparação proporcionada pela organização celular.

## **7.2. METODOLOGIA E PROTÓTIPO**

Tomada consciência da importância de explorar a possibilidade de organizar os sistemas de produção em SPOP há toda a necessidade de encontrar procedimentos que aligeirem e facilitem o processo de desenho desta organização. Esta necessidade foi manifestada num estudo seminal, referido no capítulo 5, descrito no apêndice D e publicado em Silva e Alves (2003) realizado durante esta investigação, que claramente mostrou haver necessidade de organizar o processo de projecto e saber por onde começar e que actividades a encadear para se chegar a soluções aceitáveis de SPOP. Por isso uma metodologia bem estruturada, capaz de facilitar este processo, surge como uma evidente necessidade. Não sendo conhecida nenhuma que todas as dimensões inerentes aos SPOP tratasse e neste paradigma organizacional se focasse, impunha-se a exploração de uma. A metodologia deveria permitir definir o arranjo conceptual, depois de se concluir ser o SPOP o paradigma de organização a adoptar, e depois definir o arranjo detalhado do sistema para o produto a ou família de produtos seleccionados a produzir. Outras dimensões necessárias de projecto de SPOP incluem a problemática da organização, coordenação e controlo do fluxo de materiais na célula e entre células constituintes ou colaborando na produção do produto ou família.

O capítulo 5 apresenta uma tal metodologia, a metodologia GCD, e ilustra a sua aplicação com um exemplo aplicado principalmente às fases do Projecto Conceptual e Projecto Detalhado. Este exemplo permite sustentar que a metodologia é aplicável e pode conduzir a resultados de qualidade na reconfiguração dinâmica de Sistemas de Produção Orientados ao Produto.

No entanto, fica claro que a metodologia por si só não garante um bom resultado. Isso, também depende, como aliás seria lógico, de dois aspectos fundamentais: 1) a utilização de métodos de qualidade para a realização das actividades de projecto em cada fase e 2) a capacidade do utilizador, i.e. projectista, saber julgar as sucessivas soluções apontadas em cada fase e eventualmente intervir, através de alterações construtivas e aplicação de métodos alternativos para obtenção de boas soluções. Este processo pode ser facilitado por um sistema de apoio ao projecto assistido por computador.

Por isso um protótipo de um tal sistema, o SAP\_SPOP, foi especificado e desenvolvido, cuja descrição se apresentou no capítulo 6. Nele é de realçar a natureza original da estrutura da base de dados, procurando definir os processos dos produtos em função de

operações genéricas de características, parametrizáveis. A escolha de meios de produção, principalmente máquinas, é facilitada por as máquinas e as operações genéricas partilharem o mesmo universo de características. A correspondência - “*matching*” - entre características parametrizadas das operações de um produto e as características das máquinas, existentes permite seleccionar uma máquina compatível com as características da operação do produto, i.e. capaz de executar a operação de transformação.

O protótipo, baseado na metodologia GCD, foi estruturado e descrito de forma genérica e também de forma detalhada, principalmente nos aspectos importantes que foram sujeitos a desenvolvimento. Em particular descreveu-se a organização da base de dados e da base de métodos e o acesso a implementações informatizadas destes, quer residentes no sistema, quer acessíveis por este, via SPOP designer, através de serviços prestados via rede, i.e. via intranets ou Internet.

É de realçar a base de dados, que no essencial foi implementada, com dados devidamente estruturados para facilitar o processo de especificação dos processos de fabrico e da escolha dos meios de produção, dentre o disponível ou acessível pela empresa, aspecto absolutamente crítico do projecto de SPOP.

### **7.3. CONTRIBUIÇÃO CONCEPTUAL E ONTOLÓGICA**

A investigação, como aliás era objectivo, também desenvolveu, compilou e relacionou um manancial de conceitos indispensáveis à formalização do processo de projecto de SPOP em vertentes importantes como as das chamadas configurações conceptuais, configurações operacionais e modos operatórios de células. A este propósito é de realçar as chamadas células conceptuais básicas e não básicas, as células operacionais JIT, QRM e CPF e ainda os arranjos operacionais fractais e holónicos, uma abordagem interessante capaz de catalisar e facilitar a reconfiguração virtual frequente de SPOP quando a reconfiguração física frequente é desaconselhável por razões de processo ou de custo de reposicionamento.

Na investigação compilou-se também uma variedade considerável de métodos mecanismos e algoritmos de projecto e formação de células, apresentando-se em alguns apêndices deste relatório referência e descrição sumária deles.

Seguindo a necessidade ontológica para conveniente suporte e enquadramento da investigação, apresentou-se também o conceito de SPOP que, embora de forma aproximada e algo diversa tivesse já sido considerado por outros autores, se apresenta nesta tese de uma forma inovativa, abrangente e clara integrando tanto as vertentes de arranjo físico com a de arranjo virtual e de arranjos operacionais que remetem para a necessidade de confrontar modos operatórios de células e para a necessidade de articulação ou coordenação do fluxo produtivo intercelular das células componentes e complementares do SPOP. Assim um SPOP foi definido como:

“...um sistema de produção constituído por um conjunto interligado de recursos e/ou células de produção dedicado à produção coordenada e sincronizada das fases de fabricação e/ou de montagem de um produto ou família de produtos similares.”

#### **7.4. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA**

A metodologia GCD equaciona e orienta o projecto de SPOP em três dimensões de planeamento, nomeadamente o estratégico, o tático e o operacional, correspondentes às três fases sucessivas da metodologia. Cada fase envolve actividades, fluxos de informação e tomada de decisão que afectam as escolhas em actividades posteriores, Figura 48 da secção 5.4.. Embora relacionadas, cada uma das fases da metodologia pode ser realizada de forma independente e em função da dinâmica de inovação da empresa, sendo claro que umas se realizem mais como o projecto Detalhado e outras menos frequentemente como o Projecto Genérico. Esta frequência pode querer dizer recorrer à metodologia todos os dias para aplicar a fase do Projecto Detalhado ou apenas recorrer à metodologia com intervalos de anos no caso do Projecto Genérico. Assim pode-se em síntese, de uma forma simplificada, dizer que uma empresa necessita de:

- a) implementar as três fases da metodologia, i.e. Projecto Genérico, Detalhado e Conceptual, quando pretende reavaliar e reorganizar o sistema de produção
- b) implementar as fases de Projecto Conceptual e Detalhado se houver alteração substancial nas quantidades de produção e/ou na “mix” de artigos
- c) implementar o Projecto Detalhado regularmente, semanal ou mesmo diariamente, sempre que a mistura de artigos a fabricar em cada célula se tem de alterar. Neste processo dever explorar quer a reconfiguração física do

sistema, quer a virtual numa tentativa de ajuste tão perfeito quanto possível da produção à procura.

Na metodologia GCD equaciona-se a problemática da configuração e reconfiguração de Sistemas de Produção Orientados ao Produto, i.e. o seu projecto dinâmico. Agentes que podem intervir neste processo com vista à organização ou reorganização em SPOP são consultores e equipas de projecto da empresa.

## **7.5. TRABALHO FUTURO**

A exploração das oportunidades para investigação futura pode fazer-se quer ao nível da metodologia quer ao nível do sistema de apoio SAP\_SPOP.

Relativamente à metodologia percebe-se a necessidade de fazer mais estudos de casos industriais, não só na indústria do vestuário mas também e, principalmente, noutros tipos de indústria como, por exemplo, na metalomecânica e no mobiliário. Estes estudos servirão para reforçar o conhecimento sobre o projecto de sistemas de produção em diferentes áreas sectoriais para, por um lado, avaliar a aplicabilidade da metodologia a essas áreas, e por outro contribuir para própria melhoria da metodologia.

Na formulação da metodologia esteve em mente configurações de SPOP localizadas. No entanto, apresentaram-se outras configurações mais recentes, associados aos conceitos de sistemas distribuídos e empresas virtuais, que exploram a prestação de serviços de produção e que deverão merecer a atenção de futuros desenvolvimentos ou adaptações a aplicação do conceito de SPOP a este ambiente distribuído.

No sistema de apoio há aspectos importantes relativos aos três módulos principais do SAP\_SPOP, relacionados com as três fases da metodologia, que necessitam de melhoramentos. É de realçar a necessidade de desenvolver formas de facilitar o uso integrado dos resultados de uma fase, e de actividades dentro de cada fase, como “inputs” importantes à realização de outras, sem exigir grande intervenção humana, e ainda o desenvolvimento da fase de Projecto Genérico que, tanto no que concerne à identificação de métodos úteis à sua realização como à sua implementação no protótipo se reconhece haver trabalho importante por realizar.

A componente de implementação de métodos para uso no projecto, do que apenas alguns testes foram realizados, não é objecto específico desta investigação ainda que,



sem o seu desenvolvimento o SAP\_SPOP não terá muita utilidade. Por este facto, um trabalho futuro importante, complementar desta investigação, será implementar vários métodos de qualidade necessários ao projecto de SPOP e deles assegurar a facilidade de uso pelo SPOP designer. Isto requer o desenvolvimento da investigação já iniciada nesta senda, com um sistema distribuído de serviços de apoio ao projecto (Carmo-Silva, 2007) e a implementação residente ou distribuída de métodos de qualidade úteis à realização das fases do projecto.

Um aspecto merecedor de atenção especial no futuro é explorar a interface do SAP\_SPOP com sistemas ERP de forma a facilitar o acesso à informação sobre produtos e recursos de produção e processo relevantes ao projecto de SPOP.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdelmola, A. I. e Taboun, S. M. (1999) "Productivity model for the cell formation problem: a simulated annealing algorithm", *Computers & Industrial Engineering*, vol. 37, 327-330
- Adenso-Díaz, B., Lozano, S., Racero, J. e Guerrero, F. (2001) "Machine cell formation in generalized group technology", *Computers & Industrial Engineering*, vol. 41, 227-240
- Aguiar, M. S. G. M. (1994) "Reorganização de uma confecção segundo o modelo Toyota Sewn System", Relatório de estágio da licenciatura em Engenharia de Produção- ramo Têxtil da Escola de Engenharia da Universidade do Minho
- Albadawi, Z. Bashir, H. A. e Chen, M. (2005) "A mathematical approach for the formation of manufacturing cells", *Computers & Industrial Engineering*, 48 3-21
- Al-Mubarak, F., Khumawala, B. M. e Canel, C. (2003) "Focused cellular manufacturing: an alternative to cellular manufacturing", *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 23, n.º 3, pp. 277-299
- Altshuller, G. S. (1988) "Creativity as an Exact Science", Gordon and Breach, New York
- Alvarenga, A. G. D., Negreiros-Gomes, F. J. e Mestria, M. (2000) "Metaheuristic methods for a class of the facility layout problem", *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 11, pp. 421-430
- Alves, A. C. (2000) "Metodologia para a Concepção de Sistemas de Produção Orientados ao Produto", Dissertação do Mestrado em Produção Integrada por Computador, Departamento de Produção e Sistemas, Escola de Engenharia, Universidade do Minho
- Alves, A. C., Lima, R. e Silva, S. C. (2003) "Sistemas de Produção orientados ao Produto – integrando células e pessoas", *Inovação Organizacional*, n.º 1, pág. 109-145, Instituto para a Inovação na Formação (INOFOR)
- Aly, A. A. e Subramaniam, M. (1993) "Design of an FMS decision support system", *International Journal of Production Research*, vol. 31, n.º 10, pp. 2257-2273
- Anderberg, M. R. (1973) "Cluster Analysis for Applications", Academic Press
- Anderson, C. e Bunce, P. (2000) "Next Generation Manufacturing Systems", White Paper, CAM-I Next Generation Manufacturing Systems Program, <http://www.cam-i.org/ngms.html>
- Aneke, N. A. G. e Carrie, A. S. (1986) "A design technique for the layout of multi-product flowlines", *International Journal of Production Research*, vol. 24, pp. 471-481
- Araújo, M. (1996) "Tecnologia do vestuário", Serviço de Educação, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa
- Artiba, A. (1997) "Loading and scheduling a hybrid multiproduct plant via a rule based planning system", In *The Planning and Scheduling of Production Systems*, Eds. A. Artiba e S. E. Elmaghraby, Chapman and Hall
- Arvinth, B. e Irani, S. A. (1994) "Cell formation: the need for an integrated solution of the problems", *International Journal of Production Research*, vol. 32, n.º 5, 1197-1218
- Arzi, Yohanah, Bukchin, Joseph e Masin, Michael (2001) "An efficiency frontier approach for the design of cellular manufacturing systems in a lumpy demand environment", *European Journal of Operational Research*, vol. 134, 346-364
- Ashton, J. E. e Cook, Jr. F. X. (1989) "Time to reform Job Shop Manufacturing", *Harvard Business Review*, vol. 67, n.º 2, pp. 106-111
- Askin, R. G. e Estrada, S. (1999) "Investigation of Cellular Manufacturing Practices", In *Handbook of Cellular Manufacturing Systems*, Ed. S. A. Irani, John Wiley & Sons
- Askin, R. G. e Huang, Y. (2001) "Forming effective worker teams for cellular manufacturing", *International Journal of Production Research*, vol. 39, n.º 11, pp. 2431-2451
- Askin, R. G., Ciarallo, F. W. e Lundgren, N. H. (1999) "An empirical evaluation of holonic and fractal layouts", *International Journal of Production Research*, vol. 37, n.º 5, pp. 961-978

- Askin, R. G. e Huang, Y. (2001) "Forming effective worker teams for cellular manufacturing", *International Journal of Production Research*, vol. 39, n.º 11, 2431-2451
- Askin, R. G. e Subramanian, S. P. (1987) "A cost-based heuristic for Group Technology configuration", In *Manufacturing Cells – A systems Engineering view*, Eds. Colin Moodie, Reha Uzsoy e Yuehwern Yih, Taylor & Francis (IJPR, vol. 25, 101-113)
- Aspinall, J. (2000) "Sistemas de trabalho em grupo (células) na indústria do vestuário", Seminário, CITEX – Centro de Formação Profissional da Indústria Têxtil
- Avison, D. E. e Fitzgerald, G. (1995) "Information Systems Development: methodologies, techniques and tools", 2ª edição, McGraw-Hill
- Azadivar, F. e Wang, J. (Jian) (2000) "Facility layout optimization using simulation and genetic algorithms", *International Journal of Production Research*, vol. 38, n.º 17, 4369-4383
- Babayigit, C. e Süer, G. A. (2003) "Cell loading to minimize the number of tardy jobs subject to manpower restriction" In *Proceedings of the Group Technology/Cellular Manufacturing, World Symposium 2003*, Eds. D. N. Sormaz and G. A. Suer, Columbus, Ohio, USA, pp. 277-282
- Babic, B. (1999) "Axiomatic design of flexible manufacturing systems", *International Journal of Production Research*, vol. 37, n.º 5, pp. 1159-1173
- Babu, A. S., Nandurkar, K. N. e Thomas, A. (2000) "Development of virtual cellular manufacturing systems for SMEs", *Logistics Information Management*, vol. 13, n.º 4, pp. 228-242
- Badham, R. e Couchman, P. (1996) "Implementing team-based cells in Australia: a configurational process approach", *Integrated Manufacturing Systems*, vol. 7, n.º 5, pp. 47-59
- Badham, R., McLoughlin, I. P. e Buchanan, D. A. (1998) "Human Resource Management and Cellular Manufacturing", In *Group Technology and Cellular manufacturing: updated perspectives*, Eds. Nallan C. Suresh e John M. Kay, Kluwer Academic Publishers
- Baker, K. B. (1974) "Introduction to Sequencing and Scheduling", John Wiley and Sons
- Baker, R. P. e Maropoulos, P. G. (1998a) "An automatic clustering algorithm suitable for use by a computer-based tool for the design, management and continuous improvement of cellular manufacturing systems", *Computer Integrated Manufacturing Systems*, vol. 10, n.º 3, pp. 217-230
- Baker, R. P. e Maropoulos, P. G. (1998b) "Manufacturing capability measurement for cellular manufacturing systems", *International Journal of Production Research*, vol. 36, n.º 9, pp. 2511-2527
- Baker, R. P. e Maropoulos, P. G. (2000) "Cell design and continuous improvement", *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, vol. 13, n.º 6, pp. 522-532
- Ballakur, A. e Steudel, H. J. (1987) "A within-cell utilization based heuristic for designing cellular manufacturing systems", *International Journal of Production Research*, vol. 25, n.º 5, 639-665
- Banerjee, S. K. (1997) "Methodology for integrated manufacturing planning and control systems design", In *The planning and scheduling of production systems*, Eds. A. Artiba and S. E. Elmaghraby, cap. 3, pp. 54-88
- Barata, J., Camarinha-Matos, L. M., Boissier, R., Leitão, P., Restivo, F. e Raddadi, M. (2001) "Integrated and Distributed Manufacturing, a Multi-agent Perspective" In *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> Workshop on European Scientific and Industrial Collaboration*, Holland, [http://paginas.fe.up.pt/~fjr/public\\_en.html](http://paginas.fe.up.pt/~fjr/public_en.html)
- Barbosa-Póvoa, A. P., Mateus, R. e Novais, A. Q. (2001) "Optimal two-dimensional layout of industrial facilities", *International Journal of Production Research*, vol. 39, n.º 12, pp. 2567-2593
- Bartholdi, J. J. e Eisenstein, D. D. (1996) "A production line that balances itself", *Operations Research*, vol. 44, n.º 1, pp. 21-34

- Bartholdi, J. J. e Eisenstein, D. D. (1998) “Bucket brigades: a self-organizing scheme for sharing work”, [http://www.isye.gatech.edu/people/faculty/John\\_Bartholdi/bucket-brigades/resources.html](http://www.isye.gatech.edu/people/faculty/John_Bartholdi/bucket-brigades/resources.html)
- Bartholdi, J. J., Bunimovich, L. A. e Eisenstein, D. D. (1999) “Dynamics of two- and three-Worker "Bucket brigade" production lines”, *Operations Research*, vol. 47, n.º 3, pp. 488-491
- Bartholdi, J. J., Eisenstein, D. D., Jacobs-Blecha, C. e Ratliff, H. D. (1995) “Design of Bucket brigades production lines”, [http://www.isye.gatech.edu/people/faculty/John\\_Bartholdi/bucket-brigades/resources.html](http://www.isye.gatech.edu/people/faculty/John_Bartholdi/bucket-brigades/resources.html)
- Baudin, Michel (2003) “From operator job design to task assignment in daily operations” In *Proceedings of the Group Technology and Cellular Manufacturing, World Symposium 2003* Eds. D. N. Sormaz and G. A. Suer, Columbus, Ohio, USA
- Bauer, A., Bowden, R., Browne, J., Duggan, J. e Lyons, G. (1994) “Shop Floor Control systems: from design to implementation”, Chapman & Hall
- Baykasoglu, A. (2004) “A meta-heuristic algorithm to solve quadratic assignment formulations of cell formation problems without presetting number of cells”, *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 15, pp. 753-759
- Baykasoglu, A. e Gindy, N. N. Z. (2000) “MOCACEF 1.0: multiple objective capability based approach to form part/machine groups for cellular manufacturing applications”, *International Journal of Production Research*, Vol. 38, n.º 5, pp. 1133-1161
- Baykasoglu, A., Gindy, N. N. Z. e Cobb, R. C. (2001) “Capability based formulation and solution of multiple objective cell formation problems using simulated annealing”, *Integrated Manufacturing Systems*, vol. 12, n.º 4, pp. 258-274
- Beaulieu, A., Gharbi, A. e Ait-Kadi (1997) “An algorithm for the cell formation and the machine selection problems in the design of a cellular manufacturing system”, *International Journal of Production Research*, vol. 35, n.º 7, pp. 1857-1874
- Ben-Arieh, D. e Triantaphyllou, E. (1992) “Quantifying data for group technology with weighted fuzzy features”, *International Journal of Production Research*, vol. 30, n.º 6, pp. 1285-1299
- Ben-Arieh, D. e Sreenivasan, R. (1999) “Information analysis in a distributed dynamic group technology method”, *International Journal of Production Economics*, 60–61, pp. 427–432
- Ben-Arieh, D. (1998) “Analysis of a distributed group technology methodology”, *Computers & Industrial Engineering*, vol. 35, n.º 1-2, pp. 69-72
- Benders, J. e Riezebos, J. (2002) “Period Batch Control: classic, not outdated”, *Production Planning & Control*, vol. 13, n.º 6, pp. 497-506
- Benders, J. e Van Hootegem, G. (2000) “How the Japanese got teams”, In *Teamworking*, Eds. S. Procter e F. Mueller, MacMillan Press, Ltd.
- Benjaafar, S. (1995) “Machine sharing in Cellular Manufacturing Systems” In *Planning, Design, and Analysis of Cellular Manufacturing Systems*, Eds. A. K. Kamrani, H. R. Parsaei e D. H. Liles, Elsevier
- Benjaafar, S., Heragu, S. S. e Irani, S. A. (2002) “Next Generation Factory Layouts: research challenges and recent progress”, *Interfaces*, vol. 32, n.º 6, pp. 58-76
- Benjaafar, S. (1995) “Machine sharing in Cellular Manufacturing Systems”, In *Planning, Design and Analysis of Cellular Manufacturing Systems*, Eds. A. K. Kamrani, H. R. Parsaei e D. H. Liles, Elsevier Science B. V.
- Berger, A. (1997) “Continuous improvement and kaizen: standardization and organizational designs”, *Integrated Manufacturing Systems*, vol. 8, n.º 2, pp. 110-117
- Bhatt, G. D. e Zaveri, J. (2002) “The enabling role of decision support systems in organizational learning”, *Decision Support Systems*, vol. 32, pp. 297-309

- Bidanda, B., Ariyawongrat, P., Needy, K. L., Norman, B. A. e Tharmmaphornphilas, W. (2005) "Human related issues in manufacturing cell design, implementation, and operation: a review and survey", *Computers & Industrial Engineering*, vol. 48, pp. 507-523
- Bihun, Thomas A. (1994) "Using Quick Response to manage the materials flow" Conference Proceedings, American Production & Inventory Control Society, 1994
- Billo, R. E. e Bidanda, B. (1998) "Part Family identification: the role of engineering Data Bases", In *Group Technology & Cellular Manufacturing: updated perspectives*, Eds. Nallan C. Suresh e John M. Kay, Kluwer Academic Publishers
- Bititci, U. S., Martinez, V. Albores, P. e Parung, J. (2004) "Creating and managing value in collaborative networks", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, vol. 34, n.º 3/4, pp. 251-268
- Black, J. T. (1991) "The Design of the Factory with a Future", McGraw-Hill
- Black, J. T. (2001/2002) "Design for system success", *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 20, n.º 6, pp. 365-370
- Black, J. T. e Chen, J. C. (1995) "The role of decouplers in JIT pull apparel cells", *International Journal of Clothing Science and Technology*, vol. 7, n.º 1
- Black, J. T. e Schroer, B. J. (1988) "Decouplers in Integrated Cellular Manufacturing Systems", *Journal of Engineering for Industry, Transactions of the ASME*, vol. 110
- Black, J. T. e Schroer, B. J. (1994) "Simulation of an Apparel Assembly Cell with walking workers and decouplers", *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 12, n.º 2
- Blackburn, J. D. (1991) "Time Based Competition", Irwin, Homewood, IL
- Blazewicz, J., Ecker, K. H, Pesch, E., Schmidt, G. e Weglarz, J. (1996) "Scheduling Computer and Manufacturing Processes", Springer Verlag, Heidelberg
- Boardman, J. T. e Clegg, B. T. (2001) "Structured engagement in the extended enterprise", *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 21, n.º 5/6, pp. 795-811
- Boctor, F. F. (1991) "A linear formulation of the machine-part cell formation problem", *International Journal of Production Research*, vol. 29, n.º 2, 343-356
- Boe, W. J. e Cheng, C. H. (1991) "A close neighbour algorithm for designing cellular manufacturing systems", *International Journal of Production Research*, vol. 29, n.º 10, pp. 2097-2116
- Bonvik, A. M., Couch, C. E. e Gershwin, S. B. (1997) "A comparison of production-line control mechanisms", *International Journal of Production Research*, vol. 35, n.º 3, pp. 789-804
- Boothroyd, G. e Dewhurst, P. (1983) "Design for Assembly: a designer's handbook", University of Massachusetts, Amherst
- Bourke, K. E. (2000) "Product Configurators: Key enablers for Mass customization"
- Bradford, M. J. (2001) "Repetitive Manufacturing: Benefits, benefits", IIE Solutions, pp. 38-43
- Braga, S. M. C. (2004) "Implementação de *lean manufacturing*", Relatório de estágio da licenciatura em Engenharia e Gestão Industrial, Departamento de Produção e Sistemas, Escola de Engenharia, Universidade do Minho
- Brandon, J. A. (1996) "Cellular Manufacturing: integrating technology and Management", Wiley, New York
- Browne, J. Harhen, J. e Shivnan, (1988) "Production Management Systems – A CIM Perspective", Addison-Wesley Pub. Co.
- Bruce, M. e Daly, L. (2004) "Lean or agile a solution for supply chain management in the textiles and clothing industry", *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 24, n.º 2, pp. 151-170
- Brucker, P. (1995) "Scheduling Algorithms", Springer

- Bukchin, J., Dar-El, E. M. and Rubinovitz, J. (2002) "Mixed model assembly line design in a make-to-order environment", *Computers and Industrial Engineering*, vol. 41, 405-421
- Burbidge, J. L. (1973) "Production Flow Analysis on the Computer", Third Annual Conf. of the Institution of Production Engineers, Nov. 1973, Sheffield
- Burbidge, J. L. (1989) "Production Flow Analysis for planning Group Technology", Clarendon Press, Oxford
- Burbidge, J. L. (1992) "Change to GT: process organization is obsolete", *International Journal of Production Research*, vol. 30, pp. 1209-1219
- Burbidge, J. L. (1993) "Group Technology (GT): Where do we go from here?" In *Advances in Production Management System*, Ed. I. A. Pappas e I. P. Tatsiopoulos, North - Holland, IFIP
- Burgess, A. G., Morgan, I. e Vollmann, T. E. (1993) "Cellular manufacturing: its impact on the total factory", *International Journal of Production Research*, vol. 31, n.º 9, 2059-2077
- Burke, L. e Ignizio, J. P. (1997) "A practical overview of neural networks", *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 8, pp. 175-165
- Burke, Laura e Kamal, Soheyla (1995) "Neural Networks and the Part Family/Machine Group formation problem in Cellular Manufacturing: a framework using Fuzzy ART", *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 14, n.º 3, 148-159
- Buzacott, J. A., Price, S. e Shanthikumar, J. G. (1992) "Service levels in multistage MRP and base stock controlled production systems" In *New Directions for Operations Research in Manufacturing*, Eds. G. Fandel, T. Gullledge, and A. Jones, Springer Verlag, pp. 445-463.
- Cabrera-Rios, M., Mount-Campbell, C. A. e Irani, S. A. (2002) "An approach to the design of a manufacturing cell under economic considerations", *International Journal of Production Economics*, vol. 78, 223-237
- Camarinha-Matos, L. M. (2001) "Integração de sistemas de manufactura – das ilhas de automação às empresas virtuais", *Ingenium*, 2ª série, n.º 56, Março, p. 68-74
- Camarinha-Matos, L. M. e Afsarmanesh, H. (1999) "The Virtual Enterprise Concept". In *Working Conference on Infrastructures for Virtual Enterprises (PRO-VE'99)*, Eds. L. M. Camarinha-Matos and H. Afsarmanesh, Kluwer Academic Publishers
- Camarinha-Matos, L. M. e Afsarmanesh, H. (2004) "Collaborative networked organizations: a research agenda for emerging business models" (Eds.), Kluwer Academic Publishers
- Camarinha-Matos, L. M. e Pantoja-Lima, C. (2001) "Cooperation coordination in Virtual Enterprises", *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 12, pp. 133-150
- Camarinha-Matos, L. M., Afsarmanesh, H., Garita, C. e Lima, C. (1997) "Towards an Architecture for Virtual Enterprises" In *The Second World Congress on Intelligent Manufacturing Processes & Systems*, Springer Verlag
- Canada, J. R., Sullivan, W. G. (1989) "Economic and multiattribute evaluation of Advanced Manufacturing Systems", Prentice-Hall
- Canel, C. e Khumawala, B. M. (1997) "Multi-period international facilities location: an algorithm and application", *International Journal of Production Research*, vol. 35, n.º 7, pp. 1891- 1910
- Canel, C. e Khumawala, B. M. (2001) "International facilities location: a heuristic procedure for the dynamic uncapacitated problem", *International Journal of Production Research*, vol. 39, n.º 17, pp. 3975- 4000
- Canel, C., Al-Mubarak, F. e Khumawala, B. M. (2005) "A comparison of focused cellular manufacturing to cellular manufacturing and job shop", *International Journal of Production Research*, vol. 43, n.º 11, pp. 2169-2194
- Cantamessa, M. e Turrone, A. (1997) "A pragmatic approach to machine and part grouping in cellular manufacturing system design", *International Journal of Production Research*, vol. 35, n.º 4, pp. 1031-1050

- Cao, D. Chen, M. (2004) “Using penalty function and Tabu search to solve cell formation problems with fixed cell cost”, *Computers & Operations Research* 31 21–37
- Caplinskas, A. (1998) “AI paradigms”, *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 9, pp. 493-502
- Cardoso, Luís (1998) “Gestão Estratégica das Organizações: ao encontro do 3º milénio”, Editorial Verbo, IAPMEI
- Carmo-Silva, S. (2005) “Textos de Apoio à Disciplina de Organização e Gestão da Produção II” - LEGI , publicação interna, Universidade do Minho, Portugal
- Carmo-Silva, S. (2006) “Textos de Apoio à Disciplina de Organização e Gestão da Produção I – V01-06” - LEGI , publicação interna, Universidade do Minho, Portugal
- Carmo-Silva, S. e Alves, A. C. (2006) “Detailed Design of Product Oriented Manufacturing Systems” *Proceedings of Group Technology / Cellular Manufacturing Third international conference – 2006*, Eds. J. Riezebos e J. Slomp, Groningen, The Netherlands, pp. 260-269
- Carmo-Silva, S., Alves, A. C. e Costa, M. (2005) “A Computer Aided Design System for Product Oriented Manufacturing Systems Reconfiguration” In *Intelligent Production Machines and Systems*, (Proceedings of the 1<sup>st</sup> IPROMS Virtual International Conference)
- Carmo-Silva, S., Alves, A. C. e Moreira, F. (2006) “Linking production paradigms and organizational approaches to production systems”, In *Intelligent Production Machines and Systems* (Proceedings of the 2<sup>nd</sup> IPROMS Virtual International Conference)
- Carmo-Silva, S., Alves, A. C., Novais, P., Costa, M., Carvalho, C., Costa, J. e Marques, M. (2007) “Distributed Design of Product Oriented Manufacturing Systems” In *Actas of the PRO'VE 2007 International Conference*, Set 2007, Guimarães, Portugal
- Carpenter, G. A., Grossberg, S. e Rosen, D. B. (1991) “Fuzzy ART: Fast stable learning and categorizing of analog patterns by an adaptative resonance system”, *Neural Networks*, vol. 4, pp. 759-771
- Carrus, B. J. e Cochran, D. S. (1998) “Application of a design methodology for production systems”, In *Proceedings of 2<sup>nd</sup> Int. Conf. on Eng. Design and Automation*, Maui, HI
- Castro, W. A. S., Castro, R. C., Mirón, S. I. e Martínez, P. U. A. (2004) “Modular manufacturing: an alternative to improve the competitiveness in the clothing industry”, *International Journal of Clothing Science and Technology*, vol. 16, n.º 3/4, pp. 301-309
- Caux, C. Bruniaux, R. e Pierreval, H. (2000) “Cell formation with alternative process plans and machine capacity constraints: A new combined approach”, *International Journal of Production Economics*, 64 279-284
- Černý, V. (1985) “A thermodynamical approach to the travelling salesman problem: an efficient simulation algorithm”, *Journal of Optimization Theory and Applications*, vol. 45, pp. 41-55
- Chan, F. T. S. e Abhary, K. (1996) “Design and evaluation of automated cellular manufacturing systems with simulation modelling and AHP approach: a case study”, *Integrated Manufacturing Systems*, vol. 7/6, pp. 39-52
- Chan, F. T. S. e Zhang, J. (2001) “Modelling for agile manufacturing systems”, *International Journal of Production Research*, vol. 39, n.º 11, pp. 2313-2322
- Chan, H. M. e Milner, D. A. (1982) “Direct Clustering Algorithm for Group Formation in Cellular Manufacture”, *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 1, n.º 1
- Chan, K. C. C., Hui, P. C. L., Yeung, K. W. and Ng, F. S. F. (1998) “Handling the assembly line balancing problem using a genetic algorithm”, *International Journal of Clothing Science and Technology*, vol. 10, n.º 1, pp. 21-37
- Chan, W. M., Chan, C. Y. e Kwong, C. K. (2004) “Development of the MAIN algorithm for a cellular manufacturing machine layout”, *International Journal of Production Research*, vol. 42, no. 1, pp. 51–65

- Chandrasekharan, M. P. e Rajagopalan, R. (1989) "Groupability: an analysis of the properties of binary data matrices for Group Technology", *International Journal of Production Research*, vol. 27, n.º 6, pp. 1035-1052
- Chandrasekharan, M. P. e Rajagopalan, R. (1986) "MODROC: an extension to Rank Order Clustering for Group Technology", *International Journal of Production Research*, vol. 24, n.º 5, pp. 1221-1233
- Chandrasekharan, M. P. e Rajagopalan, R. (1987) "ZODIAC – an algorithm for concurrent formation of part-families and machine-cells", In *Manufacturing Cells – A systems Engineering view*, Eds. Colin Moodie, Reha Uzsoy e Yuehwern Yih, Taylor & Francis
- Chang, T. M. e Yih, Y. (1994) "Generic Kanban Systems for Dinamic Environments", *International Journal of Production Research*, vol. 32, n.º 4, pp. 889-902
- Chang, T.-C., Wysk, R. A. e Wang, H-P. (1991) "Computer Aided Manufacturing", Prentice Hall
- Chatterjee, S. (1992) "Resourcing in dynamic manufacturing", *Concurrent Engineering ASME* 1992, vol. 59
- Chen, F. Frank (1998) "Flexible production systems for the apparel and metal working industries: a contrast study on technologies and contributions", *International Journal of Clothing Science and Technology*, vol. 10, n.º 1, pp. 11-20
- Chen, M e Cao, D. (2004) "Coordinating production planning in cellular manufacturing environment Tabu search", *Computers and Industrial Engineering*, vol 46, pp. 571-588
- Chen, M. (2001) "A model for integrated production planning in cellular manufacturing systems", *Integrated Manufacturing System*, vol. 12, n.º 4, pp. 275-284
- Cheng, C. H., Lee, W. H. e Miltenburg (1998) "A Bi-Cromosome Genetic Aloritm for minimizing intercell and intracell moves" In *Group Technology and Cellular manufacturing: updated perspectives*, Eds. Nallan C. Suresh e John M. Kay, Kluwer Academic Publishers
- Cheng, C. H. (1995) "A comparative examination of selected cellular manufacturing clustering algorithms", *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 15, n.º 12, pp. 86-97
- Cheng, C. H., Goh, C.-H. e Lee, A. (2001) "Designing group technology manufacturing systems using heuristics branching rules", *Computers & Industrial Engineering*, vol. 40, 117-131
- Chiang, W.-C. (2001) "Visual facility layout design system", *International Journal of Production Research*, vol. 39, n.º 9, pp. 1811-1836
- Chittratanawat, S. e Noble, J. S. (1999) "An integrated approach for facility layout, P/D location and material handling system design", *International Journal of Production Research*, vol. 37, n.º 3, pp. 683-706
- Choobineh, F. (1988) "A framework for the design of cellular manufacturing systems", *International Journal of Production Research*, vol. 26, n.º 7, 1161-1172
- Choobineh, F. e Nare, A. (1999) "The impact of ignored attributes on a CMS design", *International Journal of Production Research*, vol. 37, n.º 14, 3231-3245
- Chow, W. S. e Hawaleshka, O. (1993) "Minimizing intercellular part movements in manufacturing cell formation", *International Journal of Production Research* vol. 31, n.º 9, pp. 2161-2170
- Christodoulou, M. e Gaganis, V. (1998) "Neural networks in manufacturing cell design", *Computers in Industry*, vol. 36, pp. 133-138
- Chu, C. H. (1995) "Recent Advances in Mathematical Programming for Cell Formation" In *Planning, Design, and Analysis of Cellular Manufacturing Systems*, Eds. A. K. Kamrani, H. R. Parsaei e D. H. Liles, Elsevier
- Chu, C.-H. (1993) "Manufacturing cell formation by competitive learning", *International Journal of Production Research*, vol. 31, n.º 4, pp. 829-843



- Chung, S.-H. e Fang, C.-Y. (1993) "Using the virtual concept for short-term production planning for flexible job shop manufacturing systems", *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, vol. 6, n.º 4, 237-251
- Ciborra, C. U. (1996) "Groupware and teamwork: Invisible aid or technical hindrance?", Ed., John Wiley & Sons
- Clausing, D. P. (1994) "Total Quality Development", ASME Press, New York
- Clemen, R. T. (1991) "Making hard decisions: an introduction to decision analysis", PWS-Kent Publishing Company
- Co, H. C. e Araar, A. (1988) "Configuring cellular manufacturing", *International Journal of Production Research*, vol. 26, n.º 9, 1511-1522
- Cochran, D. S. e Dobbs, D. C. (2001/2002) "Evaluating manufacturing system design and performance using the manufacturing system design decomposition approach", *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 20, n.º 6; pp. 390
- Cochran, D. S., Arinez, J. F., Duda, J. W. e Linck, J. (2001/2002) "A decomposition approach for manufacturing system design", *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 20, n.º 6; pp. 371-389
- Cochran, D. S., Eversheim, W., Kubin, G. e Sesterhenn, M. L. (2000) "The application of axiomatic design and lean management principles in the scope of production system segmentation", *International Journal of Production Research*, vol. 38, n.º 6, pp. 747-758
- Colquhoun, G. J., Baines, R. W. e Crossley, R. (1993) "A state of the art review of IDEF0", *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, vol. 6, n.º 4
- Coronado, A. E., Lyons, A. C., Kehoe, D. F. e Coleman, J. (2004) "Enabling mass customization: extending build-to-order concepts to supply chains", *Production Planning and Control*, vol. 15, n.º 4, pp. 398-411
- Costa, M. (2004) "Modelo de dados para um sistema de apoio ao projecto de sistemas de produção orientados ao produto", Relatório de estágio da Licenciatura em Engenharia de Sistemas e Informática, Universidade do Minho
- Courtois, A., Pillet, M. e Martin, C. (1996) "Gestão da Produção", 4ª edição, Lidel Edições Técnicas
- Creswell, John W. (1994) "Research design: Qualitative and quantitative approaches", Sage Publications
- Cross Huller (2006) "Agile Manufacturing Systems" [Em linha] [Consult. 2006-08-19]. Disponível na [www: <URL: http://www.crosshuellerex-cell-olamb.com/index.php?id=1541&L=0>](http://www.crosshuellerex-cell-olamb.com/index.php?id=1541&L=0)
- Cunha, M. M. e Putnik, G. (2006) "Agile Virtual Enterprises: Implementation and Management Support", Idea Group Publishing
- Dagli, C. H. e Huggahalli, R. (1993) "A neural network approach to Group Technology" In *Neural Networks in Design and Manufacturing*, Eds. Wang, J. e Takefuji, Y. World Scientific
- Date, C. J. e Darwen, H. (1997) "A guide to the SQL standard", 4ª edição, Addison-Wesley
- Davidrajuh, R. (2003) "Realizing a new e-commerce tool for formation of a virtual enterprise", *Industrial Management & Data Systems*, vol. 103, n.º 6, pp. 434-445
- Davidrajuh, R. e Deng, Z. (2000) "An autonomous data collection system for virtual manufacturing systems", *International Journal of Agile Management Systems*, vol. 2, n.º 1, pp. 7-15
- Davis, S. M. (1987) "Future Perfect", Addison-Wesley, Reading, MA
- Dawson, P. (2001) "Contextual shaping in the origination, implementation and uptake of manufacturing cells", *Integrated Manufacturing Systems*, vol. 12, n.º 4, pp. 296-305
- Dawson, P. (2005) "Changing Manufacturing Practices: An Appraisal of the Processual Approach", *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, vol. 15, n.º 4, pp. 385-402

- De Beer, C., Eindhoven, T. H. e Witte, J. (1978) "Production Flow Synthesis", *Annals of the CIRP*, vol. 27
- De Meyer, A. e Wittenberg-Cox, A. (1992), "Acrescentar Valor aos produtos", Edições CETOP
- DeGaspari, J. (2002) "All in the family: Flexible machining systems give manufacturers a hedge on their bets", *Mechanical Engineering Magazine*, vol. 124, n.º 2, <http://erc.engin.umich.edu/publications/PubFiles/GENERAL/ulsoy1.pdf>
- Del Valle, A. G., Balarezo, S. e Tejero, J. (1994) "A heuristic workload-based model to form cells by minimizing intercellular movements", *International Journal of Production Research*, vol. 32, n.º 10, pp. 2275-2285
- Diallo, M., Pierreval, H. e Quilliot, A. (2001) "Manufacturing cells design with flexible routing capability in presence of unreliable machines", *International journal of Production Economics*, vol. 74, pp. 175-182
- Diaz, A. G. e Lee, H. (1995) "An industrial application of Network-Flow Models in Cellular Manufacturing Planning", In *Planning, Design and Analysis of Cellular Manufacturing Systems*, Eds. A. K. Kamrani, H. R. Parsaei e D. H. Liles, Elsevier Science B.V.
- Dillard, B. G., Crane, T. C. e Hamilton, J. A. (2000) "Team-based sewn products manufacturing: a case study", *International Journal of Clothing Science and Technology*, vol. 12, n.º 4, pp. 279-292
- Dimopoulos, C. e Mort, N. (2001) "A hierarchical clustering methodology based on genetic programming for the solution of simple cell-formation problems", *International Journal of Production Research*, vol. 39, n.º 1, pp. 1-19
- Dimopoulos, C. e Mort, N. (2004) "Evolving knowledge for the solution of clustering problems in cellular manufacturing", *International Journal of Production Research*, vol. 42, n.º. 19, pp. 4119-4133
- Dobado, D., Lozano, S., Bueno, J. M. e Larrañeta, J. (2002) "Cell formation using a Fuzzy Min-Max neural network", *International Journal of Production Research*, vol. 40, n.º 1, pp. 93-107
- Doumeings, G., Panayiotou, N., Rinn, A., Tatsiopoulos, I., Villenave, C. e Zülch, G. (1999) "A methodology for re-engineering and information technology implementation", *European Series in Industrial Management*, Ed. Gert Zülch Shaker Verlag
- Dowland, Kathryn A. (1995) "Simulated Annealing", In *Modern heuristic techniques for combinatorial problems*, Ed. Colin R. Reeves, McGraw-Hill Book Company
- Drolet, J. R. e Moodie, C. L. (1989) "A Virtual Cell Scheduling Algorithm" In *Progress in Materials Handling and Logistics - Volume 2*, Eds. White, J. A., Pence, I., Springer-Verlag
- Drolet, J. R., Montreuil, B. e Moodie, C-L. (1996a) "Empirical Investigation of Virtual Cellular Manufacturing System", In *Symposium of Industrial Engineering - SIE'96*
- Drolet, J., Abdounour, G. e Rheault, M. (1996b) "The Cellular Manufacturing evolution", *Computers & Industrial Engineering*, vol. 31, n.º 1/2, pp. 139-142
- Drolet, J., Marcoux, Y. e Abdounour, G. (2003) "Dynamic Cellular Manufacturing Systems: a performance comparison with classical Cellular Systems and Job Shop Systems", In *Proceedings of the Group Technology/Cellular Manufacturing World Symposium - Year 2003*, Eds. D. N. Sormaz and G. A. Süer, Columbus, Ohio, USA, pp. 165-170
- Drolet, J. R. e Moodie, C. L. (1989) "A Virtual Cell Scheduling Algorithm" In *Progress in Materials Handling and Logistics - Volume 2*, Ed. White, J. A., Pence, I., Springer-Verlag
- Drucker, Peter F. (1990) "The emerging theory of manufacturing", *Harvard Business Review*, May-June, pp. 94-102
- Duguay, Claude R., Landry, Sylvain e Pasin, Federico (1997) "From mass production to flexible/agile production", *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 17, n.º 12, p. 1183-1195
- Duray, R., Ward, P. T., Milligan, G. W. e Berry, W. L. (2000) "Approaches to Mass

- Customization: Configurations and empirical validations”, *Journal of Operations Management*, vol. 18, n.º 6, pp. 605-625
- Durmusoglu, M. B. e Nomak, A. (2005) “GT cells design and implementation in a glass mould production system”, *Computers & Industrial Engineering*, vol. 48, pp. 525–536
- Efstathiou, Janet e Golby, Peter (2001) “Application of a simple method of a cell design accounting for product demand and operation sequence”, *Integrated Manufacturing Systems*, vol. 12, n.º 4, pp. 246-257
- Ellson, J., Gansner, E. R., Koutsofios, E., North, S. C. e Woodhull, G. (2005) “Graphviz and Dynagraph – Static and Dynamic Graph Drawing Tools”, pp. 1-23, <http://www.graphviz.org/Documentation/EGKNW03.pdf>
- Elmaghraby, S. E. e Karnoub, R. E. (1997) “Production Control in Hybrid Flowshops: An example from textile Manufacturing”, In *The Planning and Scheduling of Production Systems*, Eds. A. Artiba and S. E. Elmaghraby, Chapman and Hall
- Elwany, M. H., Khairy, A. B., Abou-Ali, M. G. e Harraz, N. A. (1997) “A combined multicriteria approach for Cellular Manufacturing Layout”, *Annals of the CIRP*, vol. 46, n.º 1
- Encarnação, J. L. e Lockemann, P. C. (1990) “Engineering Databases”, Springer-Verlag
- Engström, T., Blomquist, B. e Holmström (2004) “Reconstructing the history of the main Volvo Tuve plant”, *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 24, n.º 8, pp. 820-839
- Engström, T., Jonsson, D. e Medbo, L. (1996) “Production model discourse and experiences from the Swedish automotive industry”, *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 16, n.º 2, pp. 141-158
- Eton (2005) “Eton System” [Em linha] [Consult. 2006-08-19]. Disponível na www: <URL: <http://www.eton.se>>.
- Feitzinger, E. e Lee, H.L. (1997) “Mass Customization at Hewlett-Packard: the power of postponement”, *Harvard Business Review*, vol. 75, n.º 1, pp. 116-121
- Feng, D. Z. e Yamashiro, M. (2003) “A pragmatic approach for optimal selection of plant-specific process plans in a virtual enterprise”, *Production Planning & Control*, vol. 14, n.º. 6, pp. 562–570
- FIPSPUB183 (1993) “Software Standard, Modelling Techniques – Announcing the Standard for Integration Definition For Function Modelling (IDEF0)” Federal Information Processing Standards Publications (FIPS PUBS), [www.idef.com](http://www.idef.com)
- Fix-Sterz, J., Lay, G., Schultz-Wild, R. e Wengel, J. (1990) “Flexible Manufacturing systems and cells in the Federal Republic of Germany”, In *New Technology and Manufacturing management*, Eds. M. Wobbe e P. Brodner, John Wiley & Sons, pp. 191-212
- Flynn, B. B. and Jacobs, F. R. (1986). "A simulation comparison of Group technology with traditional job shop manufacturing”, *International Journal of Production Research*, vol. 24, n.º 5, pp. 1171-1192
- Forza, C. (1996) “Work organization in lean production and traditional plants”, *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 16, n.º 2, pp. 42-62
- Forza, C. e Vinelli, A. (1996) “An analytical scheme for the change of the apparel design process towards quick response”, *International Journal of Clothing Science and Technology*, vol. 8 n.º 4, pp. 28-43
- Forza, C. e Vinelli, A. (1997) “Quick Response in the textile-apparel industry and the support of information technologies”, *Integrated Manufacturing Systems*, vol. 8 n.º 3, pp. 125-136
- Foulds, L. R. (1997) “LayoutManager: a microcomputer-based decision support systema for facilities layout”, *Decision Support Systems*, vol. 20, pp. 199-213

- Fozzard, G., Spragg, J. e Tyler, D. (1996a) "Simulation of flow lines in clothing manufacture – Part I: model construction", *International Journal of Clothing Science and Technology*, vol. 8, n. ° 4, pp. 17-27
- Fozzard, G., Spragg, J. e Tyler, D. (1996b) "Simulation of flow lines in clothing manufacture – Part II: credibility issues and experimentation", *International Journal of Clothing Science and Technology*, vol. 8, n. ° 5, pp. 42-50
- Freitas, M. P. (2000) "Estudo e implementação de linhas de produção", Relatório de estágio da licenciatura em Engenharia de Produção, Departamento de Produção e Sistemas, Escola de Engenharia, Universidade do Minho~
- Fukaya, T. (2004) "HIPARMS: Highly Productive And Reconfigurable Manufacturing System", Final Report, Intelligent Manufacturing Systems, Disponível na www: <URL: <http://www.ims.org>>
- Fulkerson, B. (1997) "A response to dynamic change in the market place", *Decision Support Systems*, vol. 21, pp. 199-214
- Gallagher, C. C. e Knight, W. A. (1973) "Group Technology" Butterworths Press
- Gansner, E. R. e North, S. C. (1999) "An open graph visualization system and its applications to software engineering" *Software—practice and experience*, pp. 1–5, <URL: <http://www.graphviz.org/Documentation/GN99.pdf>>
- Garbie, I. H. Parsaei, H. R. e Leep, H. R. (2005) "Introducing new parts into existing cellular manufacturing systems based on a novel similarity coefficient", *International Journal of Production Research*, Vol. 43, No. 5, 1 March, 1007–1037
- Garud, R. e Kumaraswamy, A. (1995) "Technological and organizational designs for realizing economies of substitution", *Strategic Management Journal*, vol. 16, pp. 93-109
- George, A. P., Rajendran, C. e Ghosh, S. (2003) "An analytical-iterative clustering algorithm for cell formation in cellular manufacturing systems with ordinal-level and ratio-level data", *International Journal of Advanced Manufacturing*, 22: 125–133
- George, J. (1996) "Virtual best practice: how to successfully introduce virtual team working", *Teams*, November, pp. 38-45
- Gerber Technology (2005) "UPS - Unit Production System". [Em linha]. [Consult. em 2005-06-23]. Disponível na www: <URL: <http://www.gerbertechnology.com/gtwww/03Prods/cms/mover.htm>>
- Gessner, R. A. (1986) "Master production schedule planning", John Wiley & Sons, Inc.
- Ghosh, S. e Gagnon, R. J. (1989) "A comprehensive literature review and analysis of the design, balancing and scheduling of assembly systems", *International Journal of Production Research*, vol. 27, n.º 4, pp. 637-670
- Gibson, P., Greenhalgh, G. e Kerr, R. (1995) "Manufacturing Management – principles and concepts", Chapman & Hall
- Gilmore, J. H. e Pine, B. J. (1997) "The four faces of customization", *Harvard Business Review*, vol. 75, n.º 1, pp. 91-101
- Gindy, N. N. Z. e Ratchev, S. M. (1997) "Cellular decomposition of manufacturing facilities using resource elements", *Integrated Manufacturing Systems*, vol. 8, n. ° 4, pp. 215-222
- Gleick, J. (1988) "Chaos", Sphere Books, London
- Glover, F. (1986) "Future paths for integer programming and links to artificial intelligence", *Computers & Operations Research*, vol. 5, pp. 533-549
- Goldberg, D. E. (1989) "Genetic algorithms in Search, Optimization and Machine Learning", Addison-Wesley, Reading, MA
- Goldratt, E. M. (1990) "Theory of Constraints", North River Press, USA
- Goldratt, E. M. e Fox, R. E. (1986) "The Race", North River Press, Inc.

- Gomes, J. M. O. S. (2001) “Implementação de Células de Produção”, Relatório de estágio da licenciatura em Engenharia de Produção, Departamento de Produção e Sistemas, Escola de Engenharia, Universidade do Minho
- Gonçalves, J. F. e Resende, M. G.C. (2004) “An evolutionary algorithm for manufacturing cell formation”, *Computers & Industrial Engineering* 47 247–273
- Graça, L. (2002) “Novas formas de organização do trabalho”, [Consult. 2006-03-15]. Disponível na www: <URL: <http://www.ensp.unl.pt/luis.graca/textos164.html>>.
- Graça, L. (2002) “O Caso da Fábrica de Automóveis da Volvo em Uddevalla (Suécia)”, [Consult. 2006-03-15]. Disponível na www: <URL: <http://www.ensp.unl.pt/luis.graca/textos19.html>>.
- Groover, M. P. (1980) “Automation, Production Systems and Computer Aided Manufacturing”, Prentice-Hall, Inc, N.J.
- Guerrero, F., Lozano, S., Smith, K. A., Canca, D. and Kwok, T. (2002) “Manufacturing cell formation using a new self-organizing neural network”, *Computers & Industrial Engineering*, vol. 42, pp. 377-382
- Guimarães, M. (1999) “Implementação de Células de fabrico na indústria de confecção”, 4<sup>as</sup> Jornadas de Engenharia de Produção, Departamento de Produção e Sistemas
- Gunasekaran, A. (2001) “Agile Manufacturing: the 21<sup>st</sup> century competitive strategy”, Elsevier Science
- Gunasekaran, A. e Yusuf, Y. Y. (2002) “Agile manufacturing: a taxonomy of strategic and technological imperatives”, *International Journal of Production Research*, vol. 40, n.º 6, pp. 1357-1385
- Gunasekaran, A., McNeil, R., McGaughey, R. and Ajasa, T. (2001) “Experiences of a small to medium size enterprise in the design and implementation of manufacturing cells”, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, vol. 14, n.º 2, pp. 212-223
- Gungor, Z. e Arikan, F. (2000) “Application of fuzzy decision making in part-machine grouping”, *International Journal of Production Economics*, 63 181-193
- Gupta, J. N. D. (2002) “An excursion in scheduling theory: an overview of scheduling research in the twentieth century”, *Production Planning & Control*, vol. 13, n.º 2, pp. 105-116
- Gupta, Y.P. e Goyal, S. (1989) “Flexibility of Manufacturing Systems: Concepts and Measurements”, *European Journal of Operational Research*, vol. 43, pp. 119-135
- Hall, R. W. (1981) “Synchro MRP: Combining Kanban and MRP - The Yamaha PYMAC System”, In *Conf. Driving the Productivity Machine: Production Planning and Control in Japan*, American Production & Inventory Control Society, USA
- Halsall, D. N. e Price, D. H. R. (1999) “A DSS approach to developing systems to support production planning and control in smaller companies”, *International Journal of Production Research*, vol. 37, n.º 7, pp. 1645-1660
- Hammer, M. (1990) “Reengineering work: don’t automate, obliterate”, *Harvard Business Review*, Julho – Agosto
- Hansen, P. (1986) “The steepest ascent mildest descent heuristic for combinatorial programming” In *Congress on Numerical Methods in Combinatorial Optimization*
- Harhalakis, G., Ioannou, G., Minis, I. e Nagi, R. (1994) “Manufacturing cell formation under product demand”, *International Journal of Production Research*, vol. 32, n.º 1, pp. 47-64
- Harvey, N. (1994) “Socio technical organization of cell manufacturing and production islands in the metal manufacturing industry in Germany and the USA”, *International Journal of Production Research*, vol. 32, n.º 11, pp. 2669-2681
- Hassan, M. M. D. (1995) “Layout design in group technology manufacturing”, *International Journal of Production Economics*, vol. 38, pp. 173-188



- Hassan, M. M. D. (1995) "Layout design in group technology manufacturing", *International Journal of Production Economics*, vol. 38, pp. 173-188
- Hassan, M. M. D., Hogg, G. L. e Smith, D. R. (1986) "SHAPE: a construction algorithm for area placement evaluation", *International Journal of Production Research*, vol. 24, n.º 5, pp. 1283-1295
- Hassan, Mohsen, M. D., Hogg, Gary L. e Smith, Donald R. (1986) "SHAPE: a construction algorithm for area placement evaluation", *International Journal of Production Research*, vol. 24, n.º 5, pp. 1283-1295
- Hauser, J. R. e Clausing, D. (1988) "The House of Quality", *Harvard Business Review*, May-June
- Hay, E. J. (1988) "The Just-in-Time Breakthrough - implementing the new manufacturing basics", John Wiley & Sons
- Hayes, R. H. e Wheelwright, S. G. (1979a) "Link manufacturing process and product life cycles", *Harvard Business Review*, vol. 57, n.º 1, pp. 133-140
- Hayes, R. H. e Wheelwright, S. G. (1979b) "The dynamics of process-product life cycles", *Harvard Business Review*, vol. 57, n.º 2, pp. 127-136
- Heragu, S. S. (1994) "Group Technology and Cellular manufacturing", *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, vol. 24, n.º 2, pp. 203-215
- Higgins, P., Le Roy, P. e Tierney, L. (1996) "Manufacturing Planning and Control", Chapman & Hall
- Hill, J. E. (1991) "Flexible Manufacturing Systems" In *Proceedings of the 18<sup>th</sup> International Apparel Research Conference*, November, Atlanta, GA
- Hitomi, K. (1979) "Manufacturing Systems Engineering - a unified approach to manufacturing technology and production management", London, Taylor & Francis.
- Ho, J. C. and Chang, Yih-Long (2001) "An integrated MRP and JIT framework", *Computers and Industrial Engineering*, vol. 41, 173-185
- Ho, Y-C., Lee, C-E. e Moodie, C. L. (1993) "Two sequence pattern, matching-based, flow analysis methods for multi-flowlines layout design" In *Manufacturing Cells – A systems Engineering view*, Eds. Colin Moodie, Reha Uzsoy e Yuehwern Yih, Taylor & Francis
- Ho, Y.-C. e Moodie, C. L. (1994) "A heuristic operation sequence –pattern identification method and its applications in the design of a cellular flexible assembly system", *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, vol. 7, n.º 3
- Hoffmann, T. R. (1990) "Assembly line balancing: a set of challenging problems", *International Journal of Production Research*, vol. 28, n.º 10, pp. 1807-1815
- Holland, J. (1992) "Genetic Algorithms", *Scientific American*, July, 66-72
- Hollier, J. M. (1963) "The layout of multi-product lines" In *Manufacturing Cells – A systems Engineering view*, Eds. Colin Moodie, Reha Uzsoy e Yuehwern Yih, Taylor & Francis
- Hooper, M. J., Steeple, D. e Winters, C. N. (2001) "Costing customer value: an approach for the agile enterprise", *International Journal of Operations and Production Management*, vol.21, n.º 5/6, pp. 630-644
- Hormozi, A. M. (1994) "Agile Manufacturing" In *37<sup>th</sup> International Conference Proceedings of APICS (APICS)*, San Diego, pp. 216-218
- Hornig, H.-C. e Cochran, J. K. (2001) "Project surface regions: a decision support methodology for multitasking workers assignment in JIT systems", *Computers and Industrial Engineering*, vol. 39, pp. 159-171
- Houtzeel, Alex (1987) "Group Technology" In *Computer Integrated Manufacturing Handbook*, Eds. E. Teicholz e J. N. Orr, McGraw - Hill
- Hu, M., Yang, K. e Taguchi, S. (2000) "Enhancing Robust Design with the Aid of TRIZ and Axiomatic Design (Part II)" <http://www.triz-journal.com/archives/2000/11/d/>

- Huang C-Y. e Nof S. (1999) “Enterprise Agility: a view from the PRISM lab”, *International Journal of Agile Management Systems*, vol. 1, no. 1, pp. 51-59.
- Huang, C.-Y. e Nof, S. Y. (2000) “Autonomy and viability – measures for agent-based manufacturing systems”, *International Journal of Production Research*, vol. 38, n. ° 17, pp. 4129-4148
- Hubka, V. e Eder, W. E. (1992) “Engineering Design”, Heurista, Zurich, Switzerland
- Hunter, N. A. (1990) “Quick Response in Apparel manufacturing – a survey of the American Scene”, The Textile Institute
- Hyer, N. e Wemmerlöv, U. (2002) “Reorganizing the factory: competing through cellular manufacturing”, Productivity Press
- Hyer, N. L. e Wemmerlöv, U. (1982) “MRP/GT: a framework for production planning and control of cellular manufacturing”, *Decision Sciences*, vol. 13, pp. 681-701
- Imai, M. (1986) “KAIZEN – the key to Japan’s Competitive Success”, McGraw-Hill/Irwin
- Imai, M. (1997) “Gemba Kaizen: a common sense low-cost approach to management”, McGraw-Hill
- IPQ - Instituto Português da Qualidade (1995) “Sistemas de Qualidade: ISO 9002:1994”
- Irani S. A., Cohen, P. H. e Cavalier, T. M. (1992) “Design of Cellular Manufacturing Systems”, *Transactions of the ASME*, 114
- Irani, S. A. (1999) “Handbook of Cellular Manufacturing Systems”, Ed., John Wiley & Sons
- Irani, S. A. e Huang, H. (2000) “Custom design of facility layouts for multiproduct facilities using layout modules”, *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, vol. 16, n.º 3, pp. 259-267
- Irani, S. A. e Ramakrishnan, R. (1995) “Production Flow Analysis using STORM”, In *Planning, Design, and Analysis of Cellular Manufacturing Systems*, eds. A. K. Kamrani, H. R. Parsaei e D. H. Liles, Elsevier Science
- Irani, S. A., Cohen, P. H. e Cavalier, T. M. (1992) “Design of Cellular Manufacturing Systems”, *Transactions of the ASME*, vol. 114
- Irani, S. A., Cohen, P. H. e Cavalier, T. M. (1993) “Virtual manufacturing cells: exploiting layout design and intercell flows for the machine sharing problem” in *Manufacturing Cells – A systems Engineering view*, Eds. Colin Moodie, Reha Uzsoy e Yuehwern Yih, Taylor & Francis
- Irani, S. A., Subramanian, S. E Allam, Y. S. (1999) “Introduction to Cellular Manufacturing Systems” In *Handbook of Cellular Manufacturing Systems*, Ed. S. A. Irani, John Wiley & Sons
- Irani, S. A., Zhang, H., Zhou, J., Huang, H., Udai, T. K. & Subramanian, S. (2000) “Production Flow Analysis and Simplification Toolkit (PFAST)”, *International Journal of Production Research*, vol. 38, n.º 8, pp. 1855-1874
- Ishiwata, J. (1991) “Productivity Through Process Analysis”, Productivity Press
- Islir, A. A. (2005) “Group technology by an ant system algorithm”, *International Journal of Production Research*, Vol. 43, No. 5, 1 March, 913–932
- Iwata, K. Onosato, M., Teramoto, K. e Osaki, S. (1995) “A Modeling and Simulation Architecture for Virtual Manufacturing Systems”, *Annals of the CIRP*, vol. 44, n.º 1
- Jambu, M. e Lebeaux, M-O. (1983) “Cluster Analysis and Data Analysis”, North-Holland
- Jayaswal, S. e Adil, G. K. (2004) “Efficient algorithm for cell formation with sequence data, machine replications and alternative process routings”, *International Journal of Production Research*, vol. 42, no. 12, 2419–2433
- Jennings, N. R. (1994) “Cooperation in industrial Multi-Agent Systems”, *World Scientific Series in Computer Science*, vol. 43

- Jeon, G., Broering, M., Leep, H. R., Parsaei, H. R. e Wong, J. P. (1998) "Part family formation based on a new similarity coefficient which considers alternative routes during machine failure", *Computers & Industrial Engineering*, vol. 35, n. 3-4, pp. 479-482
- Jeong, K.-C. e Kim, Y.-D. (2000) "Heuristics for selecting machines and determining buffer capacities in assembly systems", *Computers & Industrial Engineering*, vol. 38, pp. 341-360
- JETRO - Japan External Trade Organization (1990) "Manufacturing Technology Guide n° 35 – Sewing (Apparel)", Three "I" Publications, Ltd.
- Johnson, D. J. e Wemmerlöv, U. (2004) "Why does cell implementation stop? Factors influencing cell penetration in manufacturing plants", *Production and Operations Management*, vol. 13, n.° 3, pp. 272-289
- Joines, J. A., King, R. E. e Culbreth, C. T. (1998) "Cell formation using Genetic Algorithms" In *Group Technology and Cellular manufacturing: updated perspectives*, Eds. Nallan C. Suresh e John M. Kay, Kluwer Academic Publishers
- Jonsson, D., Medbo, L. e Engstron, T.(2004) "Some considerations relating to the reintroduction of assembly lines in the Swedish automotive industry", *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 24, n.° 8, pp. 754-772
- Kádár, B., Monostori, L. e Szelke, E. (1998) "An Object Oriented Framework for Developing Distributed Manufacturing Architectures", *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 9, n.° 2, pp. 173-179
- Kaebnick, M. e Bazargan-Lari, M. (1996) "An integrated approach to the Design of Cellular Manufacturing", *Annals of the CIRP*, vol. 45, n.° 1
- Kalta, M., Lowe, T. e Tyler, D. (1998) "A Decision Support System for Designing Assembly Cells in Apparel Industry", In *Group Technology and Cellular manufacturing: updated perspectives*, eds. N. C. Suresh e J. M. Kay, Kluwer Academic Publishers
- Kamal, S. (1995) "Adaptative Clustering Algorithm for Group Technology: an application of the fuzzy ART neural networks" In *Planning, Design, and Analysis of Cellular Manufacturing Systems*, Eds. A. K. Kamrani, H. R. Parsaei e D. H. Liles, Elsevier Science
- Kamrani, A. K. e Logendran, R. (1998) "Group Technology and Cellular Manufacturing: methodologies and applications", Kentucky, Gordon and Breach Science Publishers
- Kamrani, A. K., Parsaei, H. R. e Leep, H. R. (1995) "A simulation approach for cellular manufacturing system design and analysis" In *Planning, Design, and Analysis of Cellular Manufacturing Systems*, Eds. A. K. Kamrani, H. R. Parsaei e D. H. Liles, Elsevier Science
- Kamrani, A. K., Parsaei, H. R. e Liles, D. H. (1995) "Planning, Design, and Analysis of Cellular Manufacturing Systems", Eds., Elsevier Science
- Kannan, V. R. e Ghosh, S. (1996) "Cellular manufacturing using virtual cells", *International Journal of Operations and Production Management*, vol. 16, n.° 5, pp. 99–112
- Kaparthi, S. e Suresh, N. C. (1992) "Machine-component cell formation in group technology", *International Journal of Production Research*, vol. 30, n.° 6
- Karvonen, S., Holmström J. e Eloranta, E. (1998) "Benefits from PFA in two Make-To-Order Manufacturing Firms in Finland", In *Group Technology and Cellular manufacturing: updated perspectives*, Eds. Nallan C. Suresh e John M. Kay, Kluwer Academic Publishers
- Kattan, I. A. (1997) "Design and scheduling of hybrid multi-cell flexible manufacturing systems", *International Journal of Production Research*, vol. 35, n.° 5, pp. 1239-1257
- Katzenbach, J. R. e Smith, D. K. (1993) "The Wisdom of Teams: creating the high-performance organization", McKinsey & Company, Inc.
- Katzy, B. R. e Dissel, M. (2001) "A toolset for building the virtual enterprise", *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 12, pp. 121-131
- Kerr, D. e Balakrishnan, J. (1996) "Manufacturing cell formation using spreadsheets", *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 16, n.° 9



- Khan, A. e Day, A. J. (2002) “A Knowledge Based design Methodology for manufacturing assembly lines”, *Computers & Industrial Engineering*, vol. 41, pp.441-467
- Kidd, P. T. (1994) “Agile Manufacturing forging new frontiers”, Addison Wesley Publishers
- Kim, S.H. (1990) “Designing Intelligence – a framework for Smart System”, Oxford University Press
- King, J. R. (1980) “Machine-Component grouping in production Flow Analysis: an approach using a rank order clustering algorithm” In *Manufacturing Cells – A systems Engineering view*, Eds. Colin Moodie, Reha Uzsoy e Yuehwen Yih, Taylor & Francis
- King, J. R. e Nakornchai, V. (1982) “Machine-Component group formation in Group Technology: review and extension”, *International Journal of Production Research*, vol. 20, n.º 2
- King, J. R. e Nakornchai, V. (1986) “An interactive data-clustering algorithm” In *Flexible Manufacturing Systems: Methods and Studies*, Ed. A. Kusiak, Elsevier Science Publishers B. V.
- Kirkpatrick, S., Gellat, C. D. e Vecchi, M. P. (1983) “Optimization by Simulated Annealing”, *Science*, vol. 220, pp. 671-680
- Kirton, J. e Brooks, E. (1994) “Cells in Industry: Managing Teams for profit”, McGraw-Hill Book Company Europe
- Klen, A. A. P., Rabelo, R. J., Ferreira, A. C. e Spinosa, L. M. (2001) “Managing distributed business processes in the Virtual Enterprise”, *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 12, pp. 185-197
- Knight, W. A. (1998) “Group Technology, Concurrent Engineering and Design for manufacture and assembly” In *Group Technology and Cellular manufacturing: updated perspectives*, Eds. Nallan C. Suresh e John M. Kay, Kluwer Academic Publishers
- Ko, E., Kincade, D. e Brown, J. R. (2000) “Impact of business type upon the adoption of quick response technologies – The apparel industry experience”, *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 20, n.º 9, pp. 1093-1111
- Ko, K.-C. e Egbelu, P. J. (2003) “Virtual cell formation”, *International Journal of Production Research*, vol. 41, n.º 11, pp. 2365–2389
- Kochhar, A. K. e Pegler, H. (1991) “A rule-based systems approach to the Design of Manufacturing Cells”, *Annals of the CIRP*, vol. 40, n.º 1, pp. 139-142
- Kochhar, J. S. e Heragu, S. S. (1998) “MULTI-HOPE: a tool for multiple floor layout problems”, *International Journal of Production Research*, vol. 36, no. 12, 3421- 3435
- Kochhar, J. S. e Heragu, S. S. (1999) “Facility layout design in a changing environment”, *International Journal of Production Research*, vol. 37, n.º 11, pp. 2429-2446
- Koestler, A. (1967) “The Ghost in the machine”, Arcana Books, London
- Kolli, S., Parsaei, H. e Liles, D. H. (1994) “Economic justification”, In *Organization and Management of Advanced Manufacturing*, Eds. Waldemar Karwowski e Gavriel Salvendy
- Koren, Y., Heisel, U., Jovane, F., Moriwaki, T., Pritschow, G., Ulsoy, G. e Van Brussel, H. (1999) “Reconfigurable Manufacturing Systems”, *Annals of the CIRP*, vol. 48, n.º 2, pp. 527-540
- Kotha, S. (1995) “Mass customization: implementing the emerging paradigm for competitive advantage”, *Strategic Management Journal*, vol. 16, pp. 21-42
- Kovács, I. e Castillo, J. J. (1998) “Novos modelos de produção: trabalho e pessoas”, Celta Editora
- Kovács, I., Moniz, A. B. e Cerdeira, C. (1992) “Mudança tecnológica e organizacional do trabalho na Indústria Portuguesa”, Lisboa, PEDIP/DGI/CGTP/CESO I&D
- Kovács, I. (1992) “Novas tecnologias, recursos humanos, organização e competitividade”, em “Sistemas flexíveis de produção e reorganização do trabalho”, CESO I&D, Investigação e Desenvolvimento, Programa Específico de Desenvolvimento da Indústria Portuguesa, Lisboa

- Kuipers, B. S., De Witte, M. C. e Zwaan, A. H. van der (2004) “Design or development? Beyond the LP-STS debate; inputs from a Volvo truck case”, *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 24, n.º 8, pp. 840-854
- Kulak, O., Durmusoglu, M. B. e Tufekci, S. (2005) “A complete cellular manufacturing system design methodology based on axiomatic design principles”, *Computers & Industrial Engineering*, vol. 48, pp. 765-787
- Kumar, A. e Motwani, J. (1998) “Case study: reconfiguring a manufacturing system for strategic advantage – a real-world application”, *Logistics Information Management*, vol. 11, n.º 4, pp. 244-256
- Kuo, R. J., Chi, S. C. e Teng, P. W. (2001) “Generalized part family formation through fuzzy self organizing feature map neural network”, *Computers & Industrial Engineering*, vol. 40, pp. 79-100
- Kusiak, A. (1987) “The generalized group technology concept”, *International Journal of Production Research*, vol. 25, n.º 4, pp. 561-569
- Kusiak, A. (1988) “EXGT-S: a knowledge based system for Group Technology” In *Manufacturing Cells – A systems Engineering view*, Eds. Colin Moodie, Reha Uzsoy e Yuehwern Yih, Taylor & Francis, 1995
- Kusiak, A. (1991) “Branching algorithms for solving the Group Technology problem”, *Journal of manufacturing Systems*, vol. 10, n.º 4, 332-343
- Kusiak, A. e Chow, W. S. (1987) “Efficient solving of Group Technology problem”, *Journal of manufacturing Systems*, vol. 6, n.º 2, 117-24
- Kusiak, A. e Chow, W. S. (1988) “Decomposition of Manufacturing Systems”, *IEEE Journal of Robotics and Automation*, vol. 4, n.º 5,
- Kusiak, A. e He, D. W. (1997) “Design for agile assembly: an operational perspective”, *International Journal of Production Research*, vol. 35, n.º 1, pp. 157-178
- Laarhoven, P. J. M. van e Aarts, E. H. L. (1989) “Simulated Annealing: theory and applications”, Kluwer Academic Publishers
- Lahmar, M. e Benjaafar, S. (2002) “Design of Dynamic Distributed Layouts”, pp. 1-38
- Langevin, A., Montreuil, B. e Riopel, D. (1995) “Spine layout design” In *Manufacturing Cells – A systems Engineering view*, Eds. Colin Moodie, Reha Uzsoy e Yuehwern Yih, Taylor & Francis (IJPR, vol.32, 429-442)
- Lau, H. Y. K. e Mak, K. L. (2004) “The design of flexible manufacturing systems using a extended unified framework” *Journal of Manufacturing Technology Management*, vol. 15, n.º 3, pp. 222-238
- Lee, G. H. (1998) “Designs of components and manufacturing systems for agile manufacturing”, *International Journal of Production Research*, vol. 36, n.º 4, 1023-1044
- Lee, H. F. e Stecke, Kathryn E. (1996) “An integrated design support method for Flexible Assembly Systems”, *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 15, n.º 1, pp. 13-32
- Lee, K. I. (1997) “Virtual Manufacturing System - A Test Bed of Engineering Activities”, *Annals of the CIRP*, vol. 46, n.º1
- Lee, S.-D. e Chen, Y.-L. (1997) “A weighted approach for cellular manufacturing design: minimizing intercell movement and balancing workload among duplicated machines”, *International Journal of Production Research*, Vol. 35, N.º 4, 1125-1146
- Lee, Shine-Der e Chiang, Chih-Ping (2001) “A cut-tree-based approach for clustering machine cells in the bidirectional linear flow layout”, *International Journal of Production Research*, vol. 39, n.º 15, 3491-3512
- Lee, Shine-Der e Chiang, Chih-Ping (2002) “Cells formation in the uni-directional loop material handling environment”, *European Journal of Operational Research*, vol. 37, 401-420

- Lee, W. B., Cheung, C. F., Lau, H. C. W. e Choy, K. L. (2003) "Development of a Web-based enterprise collaborative platform for networked enterprises", *Business Process Management Journal*, vol. 9, n.º 1, pp. 46-59
- Lee-Post, A. (2000) "Part family identification using a simple genetic algorithm", *International Journal of Production Research*, vol. 38, n.º 4, pp. 793-810
- Leitão, P. e Restivo, F. (2001) "An Agile and Cooperative Architecture for Distributed Manufacturing Systems", In *Proceedings of the IASTED International Conference Robotics and Manufacturing*, Cancun, Mexico, 21-24 May, pp. 188-193, [http://paginas.fe.up.pt/~fjr/public\\_en.html](http://paginas.fe.up.pt/~fjr/public_en.html)
- Leitão, P., Restivo, F. e Putnik, G. D. (2001) "A Multi-Agent Based Cell Controller" In *Proceedings of the ETFA'2001, 8<sup>th</sup> IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, Special Session on MultiAgent-based factory Automation, Industrial Applications of Intelligent Production Systems*, Nice, France, vol. 2, pp. 463-470, [http://paginas.fe.up.pt/~fjr/public\\_en.html](http://paginas.fe.up.pt/~fjr/public_en.html)
- Lendrevie, J., Lindon, D., Dionísio, P. e Rodrigues, V. (1996) "Mercator – teoria e prática do marketing", 6ª edição, Publicações D. Quixote, Lisboa
- Levasseur, G. A., Helms, M. M. e Zink, A. A. (1995) "A conversion from a functional to a cellular manufacturing layout at Steward, Inc.", *Production and Inventory Management Journal* vol. 36, n.º 3, pp. 37-42
- Lewis, M. A. (2000) "Lean production and sustainable competitive advantage", *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 20, n.º 8, pp. 959-978
- Li, M. L. e Parkin, R. E. (1997) "Group technology revisited: a simple and robust algorithm with enhanced capability", *International Journal of Production Research*, vol. 35, n.º 7, 1969-1992
- Liang, M. e Zolfaghari, S. (1999) "Machine cell formation considering processing times and machines capacities: an ortho-synapse Hopfield neural network approach", *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 10, 437-447
- Liao, T. Warren (2001) "Classification and coding approaches to part family formation under a fuzzy environment", *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 122, 425-441
- Lima, R. M. e Silva, S. C. (2002) "A flexible flow shop modelling as a distributed production system", In *Knowledge and Technology integration in production and Services*, Eds. V. Marik, L. Camarinha-Matos and H. Afsarmanesh, Kluwer Academic Publishers, pp. 71-78
- Lima, R. M. (2003) "Sistemas Distribuídos de Produção em Ambiente de Produção Simultânea" Tese de Doutoramento, Departamento de Produção e Sistemas, Escola de Engenharia, Universidade do Minho
- Lin, S.-H., Kincade, D. H. e Warfield, C. (1994) "Productivity and Production in the Apparel Industry", *International Journal of Clothing Science and Technology*, vol. 6, n.º 1, pp. 20-27
- Lockwood, W. T. Mahmoodi, F., Ruben, R. A. e Mosier, C. T. (2000), "Scheduling unbalanced cellular manufacturing systems with lot splitting", *International Journal of Production Research*, Vol. 38, n.º 4, 951- 965
- Logendran, R. (1990) "A workload based model for minimizing total intercell and intracell moves in cellular manufacturing", *International Journal of Production Research*, vol. 28, n.º 5, pp. 913-925
- Logendran, R. (1998) "Group scheduling for Cellular manufacturing systems" In *Group Technology and Cellular Manufacturing: methodologies and applications*, Eds. Kamrani, A. K. e Logendran, R., Kentucky, Gordon and Breach Science Publishers
- Logendran, R. e Talkington, D. (1997) "Analysis of cellular and functional manufacturing systems in the presence of machine breakdown", *International Journal of Production Economics*, vol. 53, pp. 239-256

- Löh, H., Rupp, T. M. e Ristic, M. (2000) “System architectures for manufacturing co-ordination in complex supply networks”, Basys’2000
- Lourenço, L.L. e Pato, M. V. (2004) “An improved genetic heuristic to support the design of flexible manufacturing systems”, *Computers and Industrial Engineering*, vol. 46, pp. 141-157
- Lowson, Bob (1998) “Quick response for Small and medium-sized Enterprises – a feasibility study”, Quick Response Research Programme, The Textile Institute
- Lozano, S., Canca, D., Guerrero, F. e García, J. M. (2001) “Machine grouping using sequence-based similarity coefficients and neural networks”, *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, vol. 17, 399-404
- Lozano, S., Guerrero, F., Eguia, I. e Onieva, L. (1999) “Cell design and loading in the presence of alternative routing”, *International Journal of Production Research*, vol. 37, n. ° 14, 3289-3304
- Luger, G. F. e Stubblefield W. A. (1998) “Artificial Intelligence – Structures and Strategies for Complex Problem Solving”, 3ª edição, Addison-Wesley
- Luong, L., He, J., Abhary, K. e Qiu, L. (2002) “A decision support system for cellular manufacturing system design”, *Computers & Industrial Engineering*, vol. 42, pp. 457-470
- MacCarthy, B. L. e Fernandes, F. C. F. (2000) “A Multi-dimensional classification of production systems for the design and selection of production planning and control systems”, *Production Planning and Control*, vol. 11, n.° 5, pp. 481-496
- Magee, J. F. (1958) “Production Planning and Inventory Control”, McGraw-Hill
- Mahadevan, B. e Srinivasan, G. (2003) “Software for manufacturing cell formation: issues and experiences” In *Proceedings of the Group Technology/Cellular Manufacturing World Symposium - Year 2003*, Eds. D. N. Sormaz and G. A. Süer, Columbus, Ohio, USA
- Mahdavi, I., Kaushall, O. P. e Chandra, M. (2001) “Graph-neural network approach in cellular manufacturing on the basis of a binary system”, *International Journal of Production Research*, vol. 39, n.° 13, 2913-2922
- Mak, K. L. e Wong, Y. S. (2000) “Genetic Design of Cellular Manufacturing Systems”, *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, Vol. 10 (2) 177–192
- Maleki, R. A. (1991) “Flexible Manufacturing Systems: the technology and management”, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall
- Malheiro, L. M. M. P. (2003) “Organização fabril de uma unidade de produção de armações para guarda-sóis”, Relatório de estágio da licenciatura em Engenharia e Gestão Industrial, Departamento de Produção e Sistemas, Escola de Engenharia, Universidade do Minho
- MAMTC- Mid-America Manufacturing Technology Center (2005) “One Piece Flow” [Em linha]. Overland Park: MAMTC 2005. [Consult. em 2005-06-23]. Disponível na www: <URL: [http://www.mamtc.com/lean/building\\_onePiece.asp](http://www.mamtc.com/lean/building_onePiece.asp)>
- Mankin, D., Cohen, S. G. e Bikson, T. K. (1996) “Teams and Technology: fulfilling the promise of the new Organization”, Harvard Business School Press, Boston, Massachusetts
- Manzini, R., Gamberi, M. Regattieri, A. e Persona, A. (2004) “Framework for designing a flexible cellular manufacturing system”, *International Journal of Production Research*, vol. 42, n.° 17, pp. 3505-3528
- Marcoux, Y., Drolet, J. e Abdounour, G. (1997) “Studying the performance of a dynamic cellular manufacturing system”, *Computers and Industrial Engineering*, vol. 33, n.° 1-2, pp. 239-242
- Marghalany, I. e Vitanov, V. (2002) “Cell formation algorithm using heuristic rules-based logic to automate the Production Flow Analysis”, In *Proceedings of International Conference on Manufacturing*, Northern Ireland, August
- Marsh, R. F., Meredith, J. R. e McCutcheon, D. M. (1997) “The life cycle of manufacturing cells”, *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 17, n. 12, pp. 1167-1182

- Marsh, Robert F., Shafer, Scott M. e Meredith, Jack R. (1999) “A comparison of cellular manufacturing research presumptions with practice”, *International Journal of Production Research*, vol. 37, n.º 14, pp. 3119-3138
- Martinez, M. T., Fouletier, P., Park, K. H. e Favrel, J. (2001) “Virtual enterprise - organisation, evolution and control”, *International Journal of Production Economics*, vol. 74, pp. 225-238
- Massay, L. L., Benjamin C. O. e Omurtag, Y. (1995) “Cellular manufacturing System Design: a holistic approach” In *Planning, Design, and Analysis of Cellular Manufacturing Systems*, Eds. A. K. Kamrani, H. R. Parsaei e D. H. Liles, Elsevier
- Massay, Lorace L., Udoka, Silvanus J. e Benjamin, Colin O. (1995) “A Simulator-based Approach to Cellular Manufacturing System Design”, *Computers & Industrial Engineering*, No. 1-4, pp. 327-331
- May, N. P. (1994) “Quick Response Systems”, In *Conference Proceedings of American Production & Inventory Control Society*
- McAuley, J. (1972) “Machine grouping for efficient production” *The Production Engineer*, vol. 51, n.º 2
- McCormick, W. T., Schweitzer, P. J. e White, T. W. (1972) “Problem decomposition and data reorganization by a clustering technique”, *Operations Research*, vol. 20, n.º 5, 993-1009
- McLean, C. R., Bloom, H. M. e Hopp, T. H. (1982) “The Virtual Manufacturing Cell” In *Proceedings of the 4th IFAC/IFIP Conference on Information Control Problems in Manufacturing Technology*, USA, pp. 105-111
- McLean, C. R., Brown, P. F. (1987) “The Automated Manufacturing Research Facility at the National Bureau of Standards” In *New Technologies for Production Management systems*, Eds. H. Yoshikawa e J. L. Burbidge, Elsevier Science Publishers B. V. North – Holland
- Meer, R. van der e Gudim, M. (1996) “The role of group working in assembly organization”, *International Journal of Production and Operations Management*, vol. 16, n.º 2, pp. 119-140
- Mehrabi, M. G., Ulsoy, A. G. e Koren, Y. (2000) “Reconfigurable Manufacturing Systems: key to future manufacturing”, *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 11, pp. 403-419
- Meller, R. D. e DeShazo, R. L. (2001/2002) “Manufacturing system design case study: Multi-channel manufacturing at electrical box & enclosures”, *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 20, n.º 6; pp. 445-456
- Mellichamp, J. M. e Wahab, A. F. A. (1987) “An Expert System for FMS Design”, *Simulation*, vol. 48, n.º 5, pp. 201-208
- Metropolis, N., Rosenbluth, A. W., Rosenbluth, M. N., Teller, A. H. e Teller, E. (1953) “Equation of state calculation by fast computing machines”, *J. of Chem. Phys.*, 21, 1087-1091
- Miltenburg, J. (1997) “Comparing JIT, MRP and TOC and embedding TOC into MRP”, *International Journal of Production Research*, vol. 35, n.º 4, pp. 1147-1169
- Miltenburg, J. (2001) “U-shaped production lines: A review of theory and practice”, *International Journal of Production Economics*, vol. 70, pp. 201-214
- Min, H. e Shin, D. (1993) “Simultaneous formation of machine and human cells in group technology: a multiple objective approach”, *Int. J. Prod. Res.*, vol. 31, n.º 10, 2307-2318
- Mintzberg, H. (1988) “Generic Strategies: towards a comprehensive framework”, *Advances in Strategic Management*, vol. 5, pp. 1-67
- Mitrofanov, S. P. (1959) “The Scientific Principles of Group Technology”, Leningrad 1959 translated by the National Lending Library 1966
- Molleman, E. e Slomp, J. (1999) “Functional flexibility and team performance”, *International Journal of Production Research*, vol. 37, n.º 8, pp. 1837-1858
- Molleman, E., Slomp, J. e Rolefes, S. (2002) “The evolution of a cellular manufacturing system - a longitudinal case study”, *International Journal of Production Economics*, vol. 75, pp. 305-322

- Molleman, Eric (2000) “Modalities of self-managing teams – The “must”, “may”, “can” and “will” of local decision making”, *International Journal of Operations & production Management*, vol. 20, n.º 8, p. 889-910
- Monden, Y. (1981) “Adaptable Kanban system helps Toyota maintain Just-In-Time production”, *Industrial Engineering*, pp. 29-46
- Monden, Y. (1983) “Toyota production System”, *Industrial Engineering and Management Press*, Institute of Industrial Engineers
- Monteiro e Reis (s.d.) “Tabelas de decisão”, *Direcção Geral da Organização Administrativa*
- Montreuil, B., Venkatadri, U. e Rardin, R. L. (1999) “Fractal layout organization for job shop environments”, *International Journal of Production Research*, vol. 37, n.º 3, pp. 501-521
- Montreuil, Benoit e Venkatadri, Uday (1991) “Strategic interpolative design of dynamic manufacturing systems layout”, *Management Science*, vol. 37, n.º 6, pp. 682-694
- Moodie, C., Uzsoy, R. e Yih, Y. (1995) “Manufacturing Cells – A systems Engineering view”, Eds., Taylor & Francis
- Moon, C. e Gen, M. (1999) “A genetic algorithm-based approach for design of independent manufacturing cells”, *International Journal of Production Economics*, 60–61 421–426
- Moon, C. e Kim, J. (1999) “Genetic algorithm for maximizing the parts flow within cells in manufacturing cell design”, *Computers & Industrial Engineering*, vol. 36, 379-389
- Moon, Y. B. (1993) “Neuro-clustering for Group Technology”, In *Neural Networks in Design and Manufacturing*, Eds. Wang, J. e Takefuji, Y. World Scientific
- Moon, Y. B. (1998) “Part family formation and classification using machine learning techniques” In *Group Technology and Cellular manufacturing*, Eds. Nallan C. Suresh e John M. Kay, Kluwer Academic Publishers
- Moreira, F. (2005) “Q@gile: Quantum Agile Manufacture of Internal Combustion Engines”, Ph.D. Thesis. Wolfson School of Mechanical and Manufacturing Engineering, Loughborough University.
- Moreira, F. e R. Weston (2005) “Q@gile system: quantum agile manufacturing system for engine machining” in COBEF 2005, Brazilian meeting on Manufacturing Engineering, 12 to 15 April 2005., Joinville-SC, Brazil.
- Mosier, Charles T. (1989) “An experiment investigating the application of clustering procedures and similarity coefficients to the GT machine cell formation problem”, *International Journal of Production Research*, vol. 27, 1811-1835
- Moussa, S. E. e Kamel, M. S. (1995) “Partitioning techniques for Cellular Manufacturing” In *Planning, Design and Analysis of Cellular Manufacturing Systems*, Eds. A. K. Kamrani, H. R. Parsaei e D. H. Liles, Elsevier Science B. V.
- Moussa, Soha Eid e Kamel, Mohamed (1998) “A part-machine assignment algorithm for cellular manufacturing with machine capacity constraints”, *Computers & Industrial Engineering*, vol. 35, n.º 3-4, 483-486
- Mukhopadhyay, S. K. e Bhandari, C. (1997) “Conjoint measurement approach for machine-part grouping in manufacturing cell formation”, *International Journal of Production Research*, vol. 35, n.º 8, 2237-2251
- Muther, Richard (1973) “Planejamento de layout: sistema SLP”, Edgard Blücher Ltda.
- Nagi, Rakesh, Harhalakis, George e Proth, Jean-Marie (1990) “Multiple routings and capacity considerations in Group Technology”, In *Manufacturing Cells – A systems Engineering view*, Eds. Colin Moodie, Reha Uzsoy e Yuehwern Yih, Taylor & Francis
- Nair, G. J. e Narendran, T. T. (1997) “Cluster goodness: A new measure of performance for cluster formation in the design of cellular manufacturing systems”, *International Journal of Production Economics*, vol. 48, pp. 49-61

- Nair, G. Jayakrishnan e Narendran, T. T. (1999) “ACCORD: a bicriterion algorithm for cell formation using ordinal and ratio-level data”, *International Journal of Production Research*, vol. 37, n.º 3, 539-556
- Nasr, N. e Dodson, S. (1992) “A generic welding cell justification and planning process” In *Economic and Financial Justification of Advanced Manufacturing Technologies*, Eds. H. R. Parsaei et al., Elsevier Science Publishers
- National Research Council (1998) “Visionary Manufacturing Challenges for 2020”, Committee on Visionary Manufacturing Challenges, Board on Manufacturing and Engineering Design, Commission on Engineering and Technical Systems, National Academy Press, <http://search.nap.edu/readingroom/books/visionary/index.html>
- New, C. C. (1977) “Managing the Manufacture of Complex Products: Co-ordinating Multi-component Assembly”, Business Books Communica Europe
- Niepcz, W. e Molleman, E. (1996) “A case study: characteristics of work organization in lean production and sociotechnical systems”, *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 16, n.º 2, pp. 77-90
- Noori, H. e Radford, R. (1995) “Production and Operations Management – Total Quality and Responsiveness”, McGraw – Hill, Inc
- Norman, B. A., Tharmmaphornphilas, W., Needy, K. L., Bidanda, B. e Warner, R. C. (2002) “Worker assignment in cellular manufacturing considering technical and human skills”, *International Journal of Production Research*, vol. 40, n.º 6, pp. 1479-1492
- Nunes, Eusébio M. P. (1996) “Gestão de recursos numa linha de montagem”, Dissertação para obtenção de grau de Mestre em Investigação Operacional e Engenharia de Sistemas, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Janeiro de 1996
- Nyman, L. R. (1992) “Making Manufacturing Cells Work”, Ingersoll Engineers, Society of Manufacturing Engineers e Computer and Automated Systems Association of SME
- Oden, H. (1994) “The demand response strategy: the neglected manufacturing strategy”, *Conference Proceedings, American Production & Inventory Control Society*, 208-212
- Offodile, O. F. e Grznar, J. (1997) “Part family formation for variety reduction in flexible manufacturing systems”, *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 17, n.º 3, pp. 291-304
- Offodile, O. F., Mehrez, A. e Grznar, J. (1994) “Cellular Manufacturing: a taxonomic review framework”, *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 13, n.º 3
- Ohta, H. e Nakamura, M. (2002) “Cell formation with reduction in setup times”, *Computers & Industrial Engineering*, vol. 42, pp. 317-327
- OIT – Organização Internacional do Trabalho (1984) “Introdução ao estudo do trabalho”, Ed. Portuguesa de Livros Técnicos e Científicos
- Okino, N. (1989) “Bionic manufacturing systems-modelon based approach”. In *Proceedings of the 18<sup>th</sup> Annual International Conference*, New Orleans, Louisiana, October 1989, CAM-I, pp. 485-492
- Okogbaa, O. G., Chen, M.T, Changchit, C. and Shell, R. L. (1992) “Manufacturing systems cell formation and evaluation using a new inter-cell flow reduction heuristic”, *International Journal of Production Research*, vol. 30, n.º 5, 1101-1118
- Olorunniwo, F. e Udo, G. (2002) “The impact of management and employees on cellular manufacturing implementation”, *International Journal of Production Economics*, vol. 76, pp. 27-38
- Olorunniwo, F. O. (1997) “A framework for measuring success of cellular manufacturing implementation”, *International Journal of Production Research*, vol.35, n.º 11, pp. 3043-3061
- Olson, D. L. (1996) “Decision Aids for Selection Problems”, Springer - Verlag



- Onwubolu, G. C. e Mutingi, M. (2001) “A genetic algorithm approach to cellular manufacturing systems”, *Computers & Industrial Engineering*, vol. 39, 125-144
- Opitz, H. (1970) “A Classification System to describe workpieces”, Pergamon Press Ltd., Oxford
- Orady, Elsayed A., Osman, T. A. e El-Baghdady, A. (1998) “Design of material handling system for manufacturing cell in an agile environment”, In *Group Technology and Cellular Manufacturing – methodologies and applications*, Eds. Ali K. Kamrani and Rasaratnam Logendran, Gordon and Breach Science Publishers
- Orlicky, J. A. (1975) “Materials Requirement Planning”, McGraw-Hill, New York
- Oudhuis, M. (2004) “The birth of the individualised team- the individual and collective in a team based production organisation at the Volvo Bus Plant”, *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 24, n. ° 8, pp. 787-800
- Ozcelik, F. e Islier, A. A. (2003) “Novel approach to multi-channel manufacturing system design”, *International Journal of Production Research*, vol. 41, no. 12, pp. 2711–2726
- Paquet, V. e Lin, L. (2003) “An integrated methodology for Manufacturing Systems design using manual and computer simulation”, *Human factors and Ergonomics in Manufacturing*, vol. 13, n.º 1, pp. 19-40
- Park, K. S. e Han, S. W. (2002) “Performance obstacles in Cellular manufacturing implementation – empirical investigation”, *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, vol. 12, n.º 1, pp. 17-29
- Park, T. e Lee, H. (1995) “Design of a Manufacturing Cell in consideration of multiple objective performance measures”, In *Planning, Design and Analysis of Cellular Manufacturing Systems*, Eds. A. K. Kamrani, H. R. Parsaei e D. H. Liles, Elsevier Science B. V.
- Park, Y. H., Park, E. H. e Ntuen, C. A. (1990) “An Economic Model for Cellular Manufacturing Systems”, In *Justification Methods for Computer Integrated Manufacturing Systems*, Eds. H. R. Parsaei, T. L. Ward e W. Karwowski, Elsevier Science Publishers
- Parkin, R. E. e Li, M. L. (1997) “The multidimensional aspects of a group technology algorithm”, *International Journal of Production Research*, vol. 35, n. ° 8, 2345-2358
- Peach, R. W. (1992) “The ISO 9000 Handbook”, CEEM Information Services
- Pereira, H. D. (2000) “Estudo e implementação de uma linha de produção”, Relatório de estágio da licenciatura em Engenharia de Produção, Departamento de Produção e Sistemas, Escola de Engenharia, Universidade do Minho
- Phillips, E. J. (1997) “Manufacturing Plant Layout”, Society of Manufacturing Engineers
- Pierreval, H., Caux, C., Paris, J. L. e Viguier, F. (2003) “Evolutionary approaches to the design and organization of manufacturing systems”, *Computers and Industrial Engineering*, vol. 44, pp. 339-364
- Piller, F. (2005) “Glossary: Mass Customization, Open Innovation, Personalization and Customer Integration”, Frank Piller's Web Site on Mass Customization & Open Innovation [Consult. 2006-03-24]. Disponível na www: <URL: <http://www.mass-customization.de>>.
- Pine, B. J. (1993) “Mass Customization: the new frontier in business competition”, Harvard Business School Press, Boston, MA
- Pinedo, M. (1995) “Scheduling – Theory, Algorithms and Systems”, Prentice-Hall Inc, New Jersey
- Plaquin, M.-F. e Pierreval, H. (2000) “Cell formation using evolutionary algorithms with certain constraints”, *International Journal of Production Economics*, 64 267-278
- Potts, C. N. e Kovalyov, M. Y. (2000) “Scheduling with batching: a review”, *European Journal of Operational Research*, vol. 120, pp. 228-249



- Prabhakaran, G. Sachithanandam, M. e Venkiah, N. (2002) “Application of the Maximal Spanning Tree Approach for Machine Cell Formation”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 20, pp. 503–514
- Praça, I. C. e Ramos, C. (1999) “Multi-agent Simulation for Balancing of Assembly Lines”, In *Proceedings of the 1999 IEEE International Symposium on Assembly and Task Planning*, Porto
- Prickett, P. (1994) “Cell-based manufacturing systems: design and implementation”, *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 14, n.º 2, pp. 4-17
- Prickett, P. e Coleman, J. (1992) “Implementation of a cell-based system for the manufacture of a range of louvre smoke ventilators”, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, vol. 5, n.º 1, pp. 18-23
- Procter, Stephen e Mueller, Frank (2000) “Teamworking”, Eds., MacMillan Press, Ltd.
- Putnik, G. D. (2001) “BM\_Virtual Enterprise Architecture Reference Model” In *Agile Manufacturing: the 21<sup>st</sup> century competitive strategy*, Ed. A. Gunasekaran, Elsevier Science
- Putnik, G. D. e Silva, S. C. (1995) “One Product Integrated Manufacturing” In *Balanced Automation Systems*, Eds. L. M. Camarinha-Matos, H. Afsarmanesh, Chapman & Hall
- Putnik, G. D., Sousa, R. M., Moreira, F. M., Carvalho, J. D., Spasic, Z. and Babic, B. (1998) “Distributed/Virtual Manufacturing System Cell: An Experimental Installation” In *The 4<sup>th</sup> International Intelligent Manufacturing Systems: Theory and Practice*, pp. 59-68
- Putnik, G. e Cunha, M. M. (2005) “Virtual Enterprise Integration: Technological and Organizational Perspectives”, Eds., Idea Group Publishing
- Rabelo, R. J. e Camarinha-Matos, L. M. (1996) “Towards Agile Scheduling in Extended Enterprise” In *Balanced Automation Systems II*, Eds. L. M. Camarinha-Matos, H. Afsarmanesh, Chapman & Hall
- Rajagopalan, R. e Batra, J. L. (1975) “Design of cellular production systems: a Graph-theoretic approach” In *Manufacturing Cells – A systems Engineering view*, Eds. Colin Moodie, Reha Uzsoy e Yuehwern Yih, Taylor & Francis
- Rajamani, D., Singh, N. and Aneja, Y. P. (1992) “A model for cell formation in manufacturing systems with sequence dependence”, *International Journal of Production Research*, vol. 30, n.º 6, pp. 1227-1235
- Rajendran, C. e Ziegler, H. (1999) “Heuristics for scheduling in flowshops and flowline-based manufacturing cells to minimize the sum of weighted flowtime and weighted tardiness of jobs”, *Computers & Industrial Engineering*, vol. 37, pp. 671-690
- Ramasesh, R., Kulkarni, S. e Jayakumar, M. (2001) “Agility in manufacturing systems: an exploratory modelling framework and simulation”, *Integrated Manufacturing Systems*, vol. 12, n.º 7, pp. 534-548
- Rampersad, H. K. (1996) “Integrated and assembly oriented product design”, *Integrated Manufacturing Systems*, vol. 7, n.º 6, pp.5-15
- Rand, Chris (2004) “Engineeringtalk”, <http://www.engineeringtalk.com/>
- Rao, H e Gu, P. (1997) “Design methodology and integrated approach for design of manufacturing systems”, *Integrated Manufacturing Systems*, vol.8, n.º 3, pp. 159-172
- Rao, H. A, Pham, S. N. e Gu, P. (1999) “A genetic algorithms-based approach for design of manufacturing systems: an industrial application”, *International Journal of Production Research*, vol. 37, n.º 3, pp. 557-580
- Ratchev, S. M. (2001) “Concurrent process and facility prototyping for formation of virtual manufacturing cells”, *Integrated Manufacturing Systems*, vol. 12, n.º 4, pp. 306-315
- Ratchev, S. M., Shiau, J. e Valtchanov, G. (2000) “Distributed product and facility prototyping in extended manufacturing enterprises”, *International Journal of Production Research*, vol. 38, n.º 17, pp. 4495-4506

- Ratcheva, V. e Vyakarnam, S. (2001) “Exploring team formation processes in virtual partnerships”, *Integrated Manufacturing Systems*, vol. 12, n.º 7, pp. 512-523
- Ravichandra e Suer (2003) “Robust cell scheduling”, In *Proceedings of the Group Technology/Cellular Manufacturing, World Symposium 2003*, Eds. D. N. Sormaz and G. A. Suer, Columbus, Ohio, USA, pp. 43-47
- Reddy, V. e Narendran, T. T. (2003) “Heuristics for scheduling sequence-dependent jobs in flow line cells”, *International Journal of Production Research*, vol. 41, n.º 1, pp. 193-206
- Reece Corporation (1990) “World Class Manufacturing for the Sewn Products Industry”, Catálogo
- Reeves, Colin R. e Beasley, John, E. (1995) “Introduction” In *Modern heuristic techniques for combinatorial problems*, Ed. Colin R. Reeves, McGraw-Hill Book Company
- Reis, L. M. S. (1994) “Planeamento e Controlo da Produção em Células de Confecção”, Relatório de estágio da Lic. Eng. Produção – Ramo Têxtil
- Rembold, U., Blume, C. e Dillman, R. (1985) “Computer Integrated Manufacturing Technology and Systems”, Marcel Dekker
- Rheault, M., Drolet, J. R. e Abdulnour, G. (1995) “Physically reconfigurable virtual cells: a dynamic model for a highly dynamic environment”, *Computers and Industrial Engineering*, vol. 29, n.º 1-4, pp. 221-225
- Rheault, M., Drolet, J. R. e Abdulnour, G. (1996) “Dynamic Cellular Manufacturing System”, *Computers and Industrial Engineering*, vol. 31, n.º 1-2, pp. 143-146
- Ribeiro, J. A. S. (2001) “Gestão Integrada de Produção em ambiente de produção flexível”, Dissertação de mestrado, Departamento de Produção e Sistemas, Escola de Engenharia, Universidade do Minho
- Ribeiro, J. F. F. e Pradin, B. (1993) “A methodology for cellular manufacturing design”, *International Journal of Production Research*, vol. 31, n.º 1, 235-250
- Riezebos, J. (2004) “Time bucket length and lot-splitting approach”, *International Journal of Production Research*, vol. 42, n.º 12, pp. 2325-2338
- Riezebos, J., Shambu, G. e Suresh, N. (1998) “Production Planning and Control Systems for Cellular Manufacturing”, In *Group Technology and Cellular Manufacturing – State of the art synthesis of research and practice*, Eds. N. C. Suresh and J. M. Kay
- Robert, M. e Cordeiro, R. (1995) “Estratégia de Inovação de Produtos Pura e Simples”, Difusão Cultural
- Rogers, G. G. e Botacci, L. (1997) “Modular production systems: a new manufacturing paradigm”, *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 8, pp. 147-156
- Rolstadås, A. (1995) “Production Planning in the Virtual Enterprise”, In *The 1<sup>st</sup> World Congress on Intelligent Manufacturing Processes & Systems*, Puerto Rico
- Romano, P. e Vinelli, A. (2001) “Quality management in a supply chain perspective – strategic and operative choices in a textile-apparel network”, *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 21, n.º 4, pp. 446-460
- Rosenblatt, M. J. (1986) “The dynamics of plant layout”, *Management Science*, vol. 32, n.º 1, pp. 76-86
- Roy, D., Anciaux, D. e Vernadat, F. (2001) “SYROCO: A novel multi-agent shop-floor control system”, *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 12, n.º 3, pp. 295-307
- Saad, S. M. e Lassila, A. M. (2004) “Layout design in fractal organizations”, *International Journal of Production Research*, vol. 42, no. 17, 3529–3550
- Saad, S. M., Baykasoglu, A. e Gindy, N. N. Z. (2002) “An integrated framework for reconfiguration of Cellular Manufacturing Systems using virtual cells”, *Production Planning & Control*, vol. 13, n.º 4, pp. 381-193

- Sabuncuoglu, I., Erel, E. and Tanyer, M. (2000) "Assembly line balancing using genetic algorithms", *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 11, 295-30
- Sagi, S. R. e Chen, F. F. (1995) "A framework for intelligent design of manufacturing cells", *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 6, pp. 175-190
- Sahin, F. (2000) "Manufacturing competitiveness: different systems to achieve the same results", *Production and Inventory Management Journal*, 41, n.º 1, pp. 56-65
- Salvador, F., Rungtusanatham, M. e Forza, C. (2004) "Supply-chain configurations for mass customization", *Production Planning and Control*, vol. 15, n.º 4, pp. 381-397
- Samatova, N. F., Potok, T. E. e Leuze, M. R. (2001) "Vector space model for the generalized parts grouping problem", *Robotics and Computer Integrated manufacturing*, vol. 17, n.º 73-80
- Sanchez, L. M. e Nagi, R. (2001) "A review of agile manufacturing systems", *International Journal of Production Research*, vol. 39, n.º 16, pp. 3561-3600
- Sarker, B. R. e Xu, Y. (1998) "Operation sequences-based cell formation methods: a critical survey", *Production Planning and Control*, vol. 9, n.º 8, pp. 771-783
- Sarker, B. R. e Islam, Khan M. Saiful (1999) "Relative performance of similarity and dissimilarity measures", *Computers & Industrial Engineering*, vol. 37, 769-807
- Sarker, B. R. e Mondal, S. (1999) "Grouping efficiency measures in cellular manufacturing: a survey and critical review", *International Journal of Production Research*, vol. 37, n.º 2, 285-314
- Saunders, M., Lewis, P. e Thornhill, A. (2000) "Research Methods for Business Students", 2ª edição, Pearson Education Limited
- Scholl, A. (1995) "Balancing and sequencing of Assembly Lines", *Physica- Verlag, Heidelberg*
- Scholl, A. e Klein, R. (1999) "ULINO: Optimally balancing U-shaped JIT assembly lines", *International Journal of Production Research*, vol. 37, no. 4, pp. 721- 736
- Schonberger, R. J. (1983) "Plant Layout Becomes Product-Oriented with Cellular, Just-In-Time Production Concepts", *Industrial Management*, November, pp. 66-70
- Schonberger, R. J. (1996) "World Class Manufacturing: the next decade: building power, strength and value", *The Free Press, New York*
- Schonberger, R. J. (1998) "Microsoft Ireland: realigning Plant, Sales, Key Suppliers by Customer Family", In *Group Technology and Cellular manufacturing*, Eds. Nallan C. Suresh e John M. Kay, Kluwer Academic Publishers
- Schonberger, R. J. (2005) "Lean Extended", *Industrial Engineer*, pp. 26-31.
- Schuring, R. W. (1996) "Operational autonomy explains the value of group work in both lean and reflective production", *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 16, n.º 2, pp. 171-182
- Seifoddini, H. (1989) "A note on the similarity coefficient method and the problem of improper machine assignment in group technology applications", *International Journal of Production Research*, vol.27, n.º 7, pp. 1161-1165
- Seifoddini, H. e Djassemi, M. (1997) "Determination of a flexibility range for cellular manufacturing systems under product mix variations", *International Journal of Production Research*, vol.35, n.º 12, pp. 3349-3366
- Seifoddini, H. e Tjahjana, B. (1999) "Part-family for cellular manufacturing:a case study at Harnischfeger", *International Journal of Production Research*, vol. 37, n.º 14, pp. 3263-3273
- Sekine, K. (1990) "One – Piece Flow: Cell design for transforming the production process", *Productivity Press*
- Selim, H. M., Askin, R. G. e Vakharia, A. J. (1998) "Cell formation in Group Technology: review, evaluation and directions for future research", *Computers & Industrial Engineering*, vol. 34, n.º 1, pp. 3-20

- Sengupta, K. e Jacobs, F. R. (2004) "Impact of work teams: a comparison study of assembly cells and assembly line for a variety of operating environments", *International Journal of Production Research*, vol. 42, no. 19, pp. 4173–4193
- Serve, M., Yen, D. C., Wang, J.-C. e Lin, B. (2002) "B2B-enhanced supply chain process: toward building virtual enterprises", *Business Process Management Journal*, vol. 8, n.º 3, pp. 245-253
- Shafer, S. M. (1998) "Part machine labour grouping: the problem and solution methods" In *Group Technology & Cellular Manufacturing: updated perspectives*, Eds. Nallan C. Suresh e John M. Kay, Kluwer Academic Publishers
- Shafer, S. M. e Meredith, J. R. (1990) "A comparison of selected manufacturing cell formation techniques", *International Journal of Production Research*, vol. 28, n.º 4, pp. 661-673
- Shafer, S. M., Tepper, B. J., Meredith, J. R. e Marsh, R. (1995) "Comparing the effects of cellular and functional manufacturing on employees' perceptions and attitudes", *Journal of Operations Management*, vol. 12, pp. 63-74
- Shahabudeen, P., Gopinath, R. and Krishnaiah, K. (2002) "Design of bi-criteria kanban system using simulated annealing technique", *Computers and Industrial Engineering*, vol. 41, 355-370
- Shahookar, K. e Mazumder, P. (1991) "VLSI cell placement techniques", *ACM Computing Surveys*, vol. 23, n.º 2, 143-220
- Shanker, R. e Vrat, P. (1999) "Some design issues in cellular manufacturing using the fuzzy programming approach", *International Journal of Production Research*, vol. 37, n.º 11, pp. 2545-2563
- Shayan, E. e Sobhanallahi, A. (2002) "Productivity gains by cellular manufacturing", *Production Planning and Control*, vol. 13, n.º 6, pp. 507-516
- Shen, W., Norrie, D. H. e Barthés, J.-P. A. (2001) "Multi-agent systems for Concurrent Intelligent Design and Manufacturing" Taylor & Francis, London and New York
- Shen, W., Norrie, D. H. e Barthés, J.-P. A. (2001) "Multi-agent systems for Concurrent Intelligent Design and Manufacturing", Taylor & Francis, London and New York
- Shingo, S. A (1985) "Revolution in Manufacturing: the SMED system", Productivity Press
- Silva, A. C. (2004) "Implementação Informatizada de Métodos de Apoio ao Projecto de Sistemas de Produção", Relatório de estágio da Licenciatura em Matemática e Ciências de Computação, Universidade do Minho
- Silva, S. C. (1988) "An Investigation into tooling requirements and strategies for FMS operation", PhD Thesis. LUT, UK
- Silva, S. C. (1997) "Analytical Assessment of Tooling Requirements for FMS Design and Operation", In *Reengineering for Sustainable Industrial Production*, Ed. L.M. Camarinha-Matos, Chapman & Hall
- Silva, S. C. e Alves, A. C. (1997) "Diferentes Perspectivas de Sistemas de Produção Orientados ao Produto", In *1º Encontro Nacional de Engenharia e Gestão Industrial*
- Silva, S. C. e Alves, A. C. (2001) "SPOPs – Sistemas de Produção Orientados ao Produto", In *TeamWork'2001*, Institute for International Research, Lisboa
- Silva, S. C. e Alves, A. C. (2002a) "A framework for understanding Cellular Manufacturing Systems", In *18<sup>th</sup> International Conference on CAD/CAM, Robotics and Factories of the future*, July 3, 4 and 5, Porto Portugal
- Silva, S. C. e Alves, A. C. (2002b) "Design of Product Oriented Manufacturing Systems", In *Knowledge and Technology integration in production and Services*, Eds. V. Marik, L. Camarinha-Matos and H. Afsarmanesh, Kluwer Academic Publishers, pp. 359-366
- Silva, S. C. e Alves, A. C. (2003) "An industrial application study of the GCD design methodology for Product Oriented Manufacturing", In *Proceedings of the Group*

- Technology/Cellular Manufacturing World Symposium - Year 2003*, Eds. D. N. Sormaz and G. A. Süer, Columbus, Ohio, USA, pp. 65-70
- Silva, S. C. e Alves, A. C. (2004) “A framework for understanding Cellular Manufacturing Systems” In *e-Manufacturing: Business Paradigms and Supporting Technologies*, Ed. J. J. P. Ferreira, Kluwer Academic Publishers, chapter 17, pp. 163-172
- Silva, S. C. e Putnik, G. D. (1995a) “Gestão de Produção - Influência dos Meios Auxiliares na Flexibilidade Operatória dos Sistemas Flexíveis de Manufatura”, Seminário COMET - Gestão da Produção em Tempo Real na Indústria do Vestuário, Universidade do Minho, Guimarães
- Silva, S. C. e Putnik, G. D. (1995b) “Project on Intelligent Manufacturing Cell at University of Minho”, In *The First World Congress on Intelligent Manufacturing Processes and Systems*
- Silva, S. C. e Ribeiro, M. F.O. P. (1998) “Sistemas de Controlo da Actividade de Produção, Caracterização, Funcionamento e Aplicação”, In *1<sup>as</sup> Jornadas do Colégio de Engenharia Mecânica*, Ordem dos Engenheiros, Porto
- Silva, S. C., Alves, A. C. e Costa, M. (2005) “A framework for a Computer Aided Design System for Product Oriented Manufacturing Systems”, In *Proceedings of the 35<sup>th</sup> International Conference on Computers & Industrial Engineering*, Eds. M. Bülent Durmuşoğlu e C. Kahraman, June 19-22, Istanbul, Turkey, pp. 1759-1764
- Silveira, G. Da (1999) “A methodology of implementation of cellular manufacturing”, *International Journal of Production Research*, vol. 37, n.º 2, pp. 467-479
- Silveira, G. Da (2001) “Mass customization: literature review and research directions”, *International Journal of production Economics*, vol. 72, pp. 1-13
- Simcsik, T. (1993) “O.M.I.S. – Organização e Métodos”, Makron Books, McGraw-Hill
- Singh, N. e Rajamani, D. (1996) “Cellular Manufacturing Systems - design, planning and control”, London, Chapman & Hall.
- Singh, N. e Rajamani, D. (1996) “Cellular Manufacturing Systems: Design, Planning and Control”, Chapman & Hall
- Skinner, W. (1969) “Manufacturing – missing link in corporate strategy”, *Harvard Business Review*, vol. 47, Maio – Junho, pp. 136-145
- Skinner, W. (1974) “The focused factory”, *Harvard Business Review*, vol. 52, May – June, pp. 113-121
- Slomp, J. (1998) “Design of Manufacturing Cells: PFA Applications in Dutch Industry”, In *Group Technology and Cellular manufacturing*, Eds. Nallan C. Suresh e John M. Kay, Kluwer Academic Publishers
- Slomp, J., Chowdary, B. V. e Suresh, N. C. (2005) “Design of virtual manufacturing cells: a mathematical programming approach” *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 21, pp. 273–288
- Slomp, J., Molleman, E. e Gaalman, G. J. C. (1993) “Production and operations management aspects of cellular manufacturing - a survey of users”, In *Advances in Production Management Systems*, Eds. I. A. Pappas and I. P. Tatsiopoulos, North-Holland, Elsevier Science Publishers B. V.
- Smith, R. P. e Heim, J. A. (1999) “Virtual facility layout design: the value of an interactive three-dimensional representation”, *International Journal of Production Research*, vol. 37, n.º 17, pp. 3941- 3957
- So, K. C. e Pinault, S. C. (1988) “Allocating buffer storages in a pull system”, *International Journal of Production Research*, vol. 15, n.º 12, 1959-1980
- Sofianopoulou, S. (1999) “Manufacturing cells design with alternative process plans and/or replicate machines”, *International Journal of Production Research*, vol. 37, n.º 3, 707-720
- Sohal, A. S., Fitzpatrick, P. e Power, D. (2001) “A longitudinal study of a flexible manufacturing cell operation”, *Integrated Manufacturing Systems*, vol. 12, n.º4, pp. 236-245

- Solimanpur, M. Vrat, P. e Shankar, R. (2004) “A heuristic to minimize makespan of cell scheduling problem”, *International Journal of Production Economics*, 88, 231–241
- Solimanpur, M., Vrat P. e Shankar, R. (2004) “A multi-objective genetic algorithm approach to the design of cellular manufacturing systems”, *International Journal of Production Research*, vol. 42, no. 7, pp. 1419–1441
- Song, S. e Hitomi, K. (1992) “GT cell formation for minimizing the intercell parts flow”, In *Manufacturing Cells – A systems Engineering view*, Eds. C. Moodie, R. Uzsoy e Y. Yih, Taylor & Francis
- Sormaz, D. N. e Rajaraman, S. (2003) “Visual tool for applications of cell formation algorithms”, In *Proceedings of the Group Technology/Cellular Manufacturing, World Symposium 2003*, Eds. D. N. Sormaz and G. A. Suer, Columbus, Ohio, USA, pp. 71-76
- Sousa, G. J. M. (1995) “Reorganização de uma confecção em células de fabrico”, Relatório de estágio da licenciatura em Engenharia de Produção, Departamento de Produção e Sistemas, Escola de Engenharia, Universidade do Minho
- Sousa, I. M. P. (1999) “Implementação e viabilidade de novas formas de organização do trabalho na indústria portuguesa de vestuário: estudo de dois casos”, Dissertação de mestrado em Engenharia Humana, Escola de Engenharia, Universidade do Minho
- Spearman, M. L. e Zazanis, M. A. (1992) “Push and pull production systems: issues and comparisons”, *Operations research*, vol. 40, n.º 3, pp. 521-532
- Spearman, M. L., Woodruff, D. L. e Hopp, W. J. (1990) “CONWIP: a pull alternative to Kanban”, *International Journal of Production Research*, vol. 28, n. 5, pp. 879-894
- Sridhar, J. e Rajendran, C. (1993) “Scheduling in a cellular manufacturing system: a simulated annealing approach”, *International Journal of Production Research*, vol. 31, n.º 12, pp. 2927-2945
- Staffend, G. S. (1992) “Making the Virtual Factory a reality”, In *AUTOFACT'92*
- Stake, R. E. (1998) “Cases studies” In *The landscape of qualitative research theories and issues*, Eds. Lincoln, Y. e N. Denzin, Sage publications, pp. 86-108
- Stake, R. E. (1995) “The Art of Case Study Research”, Sage publications
- Stalk, J. G. e Hout, T. M. (1990) “Competing against time”, The Free Press, New York
- Starr, M. K. (1965) “Modular production – a new concept”, *Harvard Business Review*, vol. 43, n.º 6, pp. 131-142
- Starr, M. K. (1972) “Production Management – systems and synthesis”, 2ª edição, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J.
- Steele, D. C. e Malhotra, M. K. (1997) “Factors affecting performance of period batch control systems in cellular manufacturing”, *International Journal of Production Research*, vol. 35, n.º 2, pp. 421-446
- Strandhagen, J. O. (1995) “Application of simulation models in design of intelligent Manufacturing Systems”, In *Proceedings of The First World Congress on Intelligent Manufacturing Processes & Systems*
- Süer, G. A. (1998) “Operation and Control of Cellular Systems at Avon Lomalinda, Puerto Rico”, In *Group Technology & Cellular Manufacturing: updated perspectives*, Eds. Suresh, Nallan C. e Kay, John M., Kluwer Academic Publishers
- Süer, G. A. e Maddisetty, S. (2005) “A mathematical model to identify cell types in a probabilistic cellular environment”, In *Proceedings of the 35<sup>th</sup> International Conference on Computers and Industrial Engineering*, Eds. M. B. Durmusoglu, M. I. Dessouky, G. A. Süer e S. Eid, Istanbul, Turkey, pp. 1831-1836
- Süer, G. A. e Subramaniam, A. (2005) “Cell loading and scheduling issues in a shoe manufacturing company”, In *Proceedings of the 35<sup>th</sup> International Conference on Computers*

- and Industrial Engineering*, Eds. M. B: Durmusoglu, M. I. Dessouky, G. A. Süer e S. Eid, Istanbul, Turkey, pp. 1819-1824
- Süer, G. A., Arikan, F. e Babayigit, C. (2005) “Effects of different fuzzy operators on fuzzy bi-objective cell loading problem in labour intensive manufacturing cells”, In *Proceedings of the 35<sup>th</sup> International Conference on Computers and Industrial Engineering*, Eds. M. B: Durmusoglu, M. I. Dessouky, G. A. Süer e S. Eid, Istanbul, Turkey, pp. 1825-1830
- Süer, G. A., Maddisetty, S. e Tummaluri, R. T. (2003) “Manpower allocation decisions considering operation time based-skills levels in labour intensive cells”, In *Proceedings of the Group Technology/Cellular Manufacturing, World Symposium 2003*, Eds. D. N. Sormaz and G. A. Suer, Columbus, Ohio, USA, pp. 283-288
- Süer, G. A. e Bera, I. S. (1998a) “Multi-period cell loading and cell size determination”, *Computers & Industrial Engineering*, vol. 35, n. ° 1-2, 85-88
- Süer, G. A. e Bera, I. S. (1998b) “Optimal Operator Assignment and cell loading in labour-intensive manufacturing cells”, *Computers & Industrial Engineering*, vol. 35, n. ° 3-4, 431-434
- Süer, G. A., Saiz, M., Dagli, C. e Gonzalez, W. (1995) “Manufacturing cells loading rules and algorithms for connected cells”, In *Planning, Design and Analysis of Cellular Manufacturing Systems*, Eds. A. K. Kamrani, H. R. Parsaei and D. H. Liles, Elsevier Science
- Suh, Nam P. (1990) “The principles of Design”, Oxford University Press
- Sun, J., Zhang, Y. F. e Nee, A. Y. C. (2001) “A distributed multi-agent environment for product design and manufacturing planning”, *International Journal of Production Research*, vol. 39, n.° 4, pp. 625-645
- Suresh, N. C. (1998) “Evaluation of functional and cellular layouts through simulation and analytical models”, In *Group Technology and Cellular manufacturing*, Eds. Nallan C. Suresh e John M. Kay, Kluwer Academic Publishers
- Suresh, N. C. e Kaparthi, S. (1994) “Performance of Fuzzy ART neural network for group technology cell formation”, *International Journal of Production Research*, vol. 32, n.° 7
- Suresh, N. C. e Slomp, J. (2005) “Performance comparison of virtual cellular manufacturing with functional and cellular layouts in DRC settings”, *International Journal of Production Research*, vol. 43, no. 5, pp. 945–979
- Suresh, N. C. e Kay, J. M. (1998) “Group Technology & Cellular Manufacturing: updated perspectives”, Eds., Kluwer Academic Publishers
- Suri, R. (1998) “Quick Response Manufacturing – A Companywide Approach to Reducing Lead Times”, Productivity Press
- Suzaki, K. (1993) “The New Shop Floor Management: empowering people for continuous improvement”, Free Press, New York
- Taboun, S. M., Merchawi, N. S. e Ulger, T. (1998) “Part family and machine cell formation in multiperiod planning horizons of cellular manufacturing systems”, *Production Planning & Control*, vol. 9, n.° 6, pp. 561-571
- Tam, K. Y. e Chan, S. K. (1998) “Solving facility layout problems with geometric constraints using parallel genetic algorithms: experimentation and findings”, *International Journal of Production Research*, vol. 36, no. 12, pp. 3253 - 3272
- Tate, D. e Nordlund, M. (1995) “Synergies between American and European approaches to Design”, In *Proceedings of the First World Conference on Integrated Design and Process Technology, Society for Design and Process Science*, Austin, pp. 103-111
- Tatikonda, M. V. e Wemmerlov, U. (1992) “Adoption and implementation of Group Tecnology classification and coding systems: insights from seven case studies”, *International Journal of Production Research*, vol. 30, n.° 9, pp. 2087-2110

- Tavares, J. A., Ramos, C. e Neves, J. (1999) “Constraint programming approach to solve facility layout design problems”, In *Proceedings of the 1999 IEEE, International Symposium on Assembly and Task Planning*, Porto, Portugal
- Taylor, F.W. (1911) “The Principles of Scientific Management”, Scanned by Eric Eldred (eldred@tica.net). [Consult. 2006-03-15]. Disponível na www: <URL: <http://socserv2.socsci.mcmaster.ca/~econ/ugcm/3ll3/taylor/sciman>>.
- Tempelmeier, H. e Kuhn, H. (1993) “Flexible Manufacturing Systems: decision support for design and operation”, John Wiley & Sons
- Tempelmeier, Horst (2003) “Practical considerations in the optimization of flow productions systems”, *International Journal of Production Research*, vol. 41, n° 1, 149-170
- Tharumarajah, A. (2001) “Survey of resource allocation methods for distributed manufacturing systems”, *Production Planning and Control*, vol. 12, n.º 1, pp. 58-68
- Tharumarajah, A., Wells, A. J. e Nemes, L. (1996) “Comparison of the Bionic, Fractal and Holonic Manufacturing System Concepts”, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* 9(3): 217-226.
- Thomas, A. J. e Pham, D. T. (2004) “Making industry fit: the conceptualisation of a generic ‘Fit’ manufacturing strategy for industry”, In *Proceedings 2nd IEEE Int Conf on Industrial Informatics*, INDIN 2004, Berlin, Eds. R. Schoop, A. Colombo, R. Bernhardt e G. Schreck, pp. 523-528
- Thompson, P. e Wallace, T. (1996) “Redesigning production through teamworking – case studies from the Volvo Corporation”, *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 16, n.º 2, pp. 103-118
- Thuillier, Pierre (1987) “Do estudo de mercado ao plano de marketing”, Edições CETOP
- Tomiyama, T e Yoshikawa, H. (1987) “Extended General Design Theory”, In *Design Theory for CAD*, Eds. H. Yoshikawa and E. A. Warman, Elsevier Science Publishers, IFIP
- Tompkins, J. A. e Moore, J. M. (1978) “Computer Aided Layout: a user’s guide”, American Institute of Industrial Engineers
- Toni, A. D. e Panizzolo, R. (1997) “Repetitive Manufacturing Planning and Control Systems: a framework for analysis”, *Production Planning and Control*, vol. 8, n.º 5, pp. 500-508
- Totterdill, Peter (1995) “Markets, technology and skills – teamworking and competitive advantage in the apparel industry”, *International Journal of Clothing Science and Technology*, vol. 7, n.º 2/3, p. 24-34
- Tretheway, S. J. e Foote, B.L. (1994) “Automatic computation and drawing of facility layouts with logical aisle structures”, *International Journal of Production Research*, vol. 32, n.º 7, pp. 1545-1555
- Tseng, M. e Jiao, J. (2001) “Mass Customization” In Salvendy (ed) *Handbook of Industrial Engineering*, 3rd edition. John Wiley and Sons
- Tu, Q., Vonderembse, M. A. e Ragu-Nathan, T. S. (2004) “Manufacturing practices: antecedents to mass customization”, *Production Planning and Control*, vol. 15, n.º 4, pp. 373-380
- Turban, E. e Aronson, J. E. (1998) “Decision Support Systems and Intelligent Systems”, 5ª edição, Prentice-Hall, Inc
- Ulrich, K. (1995) “The role of product architecture in the manufacturing firm”, *Research Policy*, n.º 24, pp. 419-440
- Upton, D. M. e McAfee, A. (1996) “The Real Virtual Factory”, *Harvard Business Review*, July-August, vol. 74, n.º 4, pp. 123-133
- Urban, T. L., Chiang, Wen-Chyuan and Russell, R. A. (2000) “The integrated machine allocation and layout problem”, *International Journal of Production Research*, Vol. 38, n.º. 13, pp. 2911- 2930



- Urze, P. (1996) “Novas formas de organização do trabalho: condições de sucesso/insucesso. Estudo de um caso na indústria têxtil”, Socius Working Papers, Instituto Superior de Economia e Gestão, Universidade Técnica de Lisboa
- Vakharia, A. J. e Chang, Y.-L. (1997) “Cell formation in group technology: a combinatorial search approach”, *International Journal of Production Research*, vol. 35, n.º 7, 2025-2043
- Vakharia, A. J. e Wemmerlöv, U. (1990) “Designing a Cellular Manufacturing System: a materials flow approach based on operation sequences”, *IIE Transactions*, vol. 22, n.º 1
- Vakharia, A. J., Moily, J. P. e Huang, Y. (1999) “Evaluating Virtual Cells and Multistage Flow Shops: an analytical approach”, *The International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, vol. 11, pp. 291-314
- Valente, A. C., Sousa, C., Gomes, J. M. e Martins, P. (2000) “O sector do vestuário em Portugal”, coord. Fátima Suleman, 1ª edição 1997, Instituto para a Inovação na Formação, Lisboa
- Valente, R. P. (1994) “Tecnologia de Grupo”, *Dirigir*, Maio/Junho
- Valle, C. E. (1975) “Implantações Industriais”, Livros Técnicos e Científicos Editora S. A.
- Van Amelsvoort, P. e Benders, J. (1996) “Team time: a model for developing self-directed work teams”, *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 16, n.º 2, pp. 159-170
- Van Hootegem, G., Huys, R. e Delarue, A. (2004) “The sustainability of teamwork under changing circumstances – the case of Volvo-Ghent”, *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 24, n.º 8, pp. 773-786
- Venkataramanaiah, S. e Krishnaiah, K. (2002) “Hybrid heuristic for design of cellular manufacturing systems”, *Production Planning & Control*, Vol. 13, N.º 3, 274-283
- Venugopal, V. (1998) “Artificial neural networks and fuzzy models: new tools for part-machine grouping”, In *Group Technology & Cellular Manufacturing: updated perspectives*, Eds. Suresh, Nallan C. e Kay, John M., Kluwer Academic Publishers
- Venugopal, V. (1999) “Soft-computing based approaches to the group technology problem: a state-of-the-art”, *International Journal of Production Research*, vol. 37, n.º 14, pp. 3335-3357
- Vernadat, F. (1996) “Enterprise Modeling and Integration: principles and applications”, Chapman & Hall
- Vilarinho, P. M. e Simaria, A. S. (2002) “A two-stage heuristic method for balancing mixed-model assembly lines with parallel workstations”, *International Journal of Production Research*, vol. 40, no. 6, 1405-1420
- Vilarinho, P. M. M. R. (1997) “Concepção e desenvolvimento de um sistema de apoio ao projecto de implantações industriais”, Dissertação de doutoramento da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
- Villa, A. (1998) “Organizing a “network of enterprises”: an object-oriented design methodology”, *Computer Integrated Manufacturing Systems*, vol. 11, n.º 4, pp. 331-336
- Viswanadham, N., Narahari, Y. e Raghavan, N.R.S. (1998) “Design/Analysis of Manufacturing Systems: a Business Process approach”, In *Group Technology and Cellular manufacturing*, Eds. Nallan C. Suresh e John M. Kay, Kluwer Academic Publishers
- Vollmann, T. E., Berry, W. L., Whybark, D. C. (1997) “Manufacturing Planning and Control Systems”, 4ª edição, Irwin/McGraw-Hill
- Wallace, T. (2004) “Innovation and hybridization: managing the introduction of lean production into Volvo do Brazil”, *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 24, n.º 8, pp. 801-819
- Wang, H. P. e Li, J. K. (1991) “Computer Aided Process Planning”, Elsevier
- Wang, J. e Takefuji, Y. (1993) “Neural Networks in Design and Manufacturing”, World Scientific

- Wang, J. (1998) "A linear assignment algorithm for formation of machine cells and part families in cellular manufacturing", *Computers & Industrial Engineering*, vol. 35, n.º 1-2, 81-84
- Wang, S. e Sarker, B. R. (2002) "Locating cells with bottleneck machines in cellular manufacturing", *International Journal of Production Research*, vol. 40, n.º 2, pp. 403-424
- Wang, T. Y., Wu, K. B. e Liu, Y. W. (2001) "A simulated annealing algorithm for facility layout problems under variable demand in Cellular Manufacturing Systems", *Computers in Industry*, vol. 46, 181-188
- Warnecke, H. J. (1993) "The Fractal Company", Springer-Verlag.
- Wei, J. C. e Kern, G. M. (1989) "Commonality analysis: a linear clustering algorithm for group technology", *International Journal of Production Research*, vol. 12, pp. 2053-2062
- Weiner, M., Factory planning—round the table. *Fraunhofer Magazine*, 1.2000, Fraunhofer-Gesellschaft, 2000, pp. 38–39.  
[http://www.fraunhofer.de/fhg/archiv/magazin/pflege.zv.fhg.de/english/publications/df/df2000/magazine1\\_2000\\_t38.html](http://www.fraunhofer.de/fhg/archiv/magazin/pflege.zv.fhg.de/english/publications/df/df2000/magazine1_2000_t38.html)
- Wemmerlöv, U. e Hyer, N. L. (1989) "A Cellular Manufacturing in the U. S. Industry: a survey of users" In *Manufacturing Cells - A systems Engineering view*, Eds. R. U. e. Y. Y. Colin Moodie, Taylor & Francis
- Wemmerlöv, U. e Johnson, D. J. (1997) "Cellular Manufacturing at 46 user plants: implementation experiences and performances improvements", *International Journal of Production Research*, vol.35, n.º 1, 29-49
- Wemmerlöv, U. e Johnson, D. J. (2000) "Empirical findings on manufacturing cell design" *International Journal of Production Research*, vol. 38, n.º 3, pp. 481-507
- Wild, R. (1972) "Mass-production Management: the Design and Operation of Production Flow-line Systems", John Wiley & Sons
- Womack, J. P. e Jones, D. T. (1996) "Lean Thinking", Siman & Schuster, New York, USA
- Womack, J., Jones, D. T. e Roos, D. (1990) "The machine that changes the world", Rawson Associates, NY
- Won, Y. e Lee, K. C. (2004) "Modified p-median approach for efficient GT cell formation", *Computers & Industrial Engineering* 46 495–510
- Won, Youkyung e Lee, Kun Chang (2001) "Group technology cell formation considering operation sequences and production volumes", *International Journal of Production Research*, vol. 39, n.º 13, 2755-2768
- Wu, B. (1994) "Manufacturing Systems Design and Analysis", 2ª edição, Chapman & Hall
- Wu, N. e Salvendy, G. (1999) "An efficient heuristic for the design of cellular manufacturing systems with multiple identical machines", *International Journal of Production Research*, vol. 37, n.º 15, pp. 3519-3540
- Xambre, A. e Vilarinho, P. (2003) "A simulated annealing approach for manufacturing cell formation with multiple identical machines", *European Journal of Operational Research* 151, pp. 434-446
- Xiaobo, Z., Jiancai, W. e Zhenbi, L. (2000) "A stochastic model of a reconfigurable manufacturing system. Part 2: Optimal configurations", *International Journal of Production Research*, vol. 38, n.º 12, pp. 2829-2842
- Xiaobo, Z., Jiancai, W. e Zhenbi, L. (2000) "A stochastic model of a reconfigurable manufacturing system. Part 1: A framework", *International Journal of Production Research*, vol. 38, n.º 10, pp. 2273-2285
- Xiaobo, Z., Jiancai, W. e Zhenbi, L. (2001) "A stochastic model of a reconfigurable manufacturing system. Part 4: Performance measure" *International Journal of Production Research*, vol. 39, n.º 6, pp. 1113-1126

- Xiaobo, Z., Jiancai, W. e Zhenbi, L. (2001) “A stochastic model of a reconfigurable manufacturing system. Part 3: Optimal selection policy”, *International Journal of Production Research*, vol. 39, n.º 4, pp. 747-758
- Xiaobo, Z., Zhou, Z. e Asres, A. (1999) “A note on Toyota’s goal of sequencing mixed models on an assembly line”, *Computers and Industrial Engineering*, vol. 36, pp. 57-65
- Xie, H., Henderson, P. e Kernahan, M. (2005) “Modelling and solving engineering product configuration problems by constraint satisfaction”, *International Journal of Production Research*, vol. 43, n.º 20, pp. 4455-4469
- Yaman, R. (2001) “Establishment and use of virtual layouts for manufacturing”, *Integrated Manufacturing Systems*, vol. 12, n.º 6, pp. 400-408
- Yang, B., Burns, N. D. e Backhouse, C. J. (2005) “An empirical investigation into the barriers to postponement”, *International Journal of Production Research*, vol. 43, n.º 5, pp. 991-1005
- Yang, W.-H. e Liao, C.-J. (1996) “Group scheduling on two cells with intercell movement”, *Computers and Operations Research*, vol. 23, n.º 10, pp. 997-1006
- Yasuda, K. e Yin, Y. (2001) “A dissimilarity measure for solving the cell formation problem in cellular manufacturing”, *Computers & Industrial Engineering*, vol. 39, pp. 1-17
- Yin, R. K. (1994) “Case study research design and methods”, Londres, Sage publications
- Yin, Y., Yasuda, K. and Hu, L. (2005) “Formation of manufacturing cells based on material flows”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 27, pp. 159–165
- Yin, Y. e Yasuda, K. (2002) “Manufacturing cells’ design in consideration of various production factors”, *International Journal of Production Research*, vol. 40, n.º 4, pp. 885-906
- Yoshimura, M., Yoshida, S., Konishi, Y., Izui, K., Nishiwaki, S., Inamori, Y., Nomura, A., Mitsuyukis, K., Kawaguchi, Y. e Inagaki, T. (2006) “A rapid analysis method for production line design”, *International Journal of Production Research*, vol. 44, n.º 6, pp. 1171-1192
- Zelevnikow, J. e Nolan, J. R. (2001) “Using soft computing to build real world intelligent decision support systems in uncertain domains”, *Decision Support Systems*, vol. 31, 263-285
- Zhao, C. e Wu, Z. (2000) “A genetic algorithm for manufacturing cell formation with multiple routes and multiple objectives”, *International Journal of Production Research*, vol. 38, no. 2, pp. 385-395
- Zolfagharia, S. e Liang, M. (2003) “A new genetic algorithm for the machine/part grouping problem involving processing times and lot sizes”, *Computers & Industrial Engineering*, vol. 45, n.º 4, pp. 713–731

## **APÊNDICES**

Apêndice A Questionário sobre o sistema de produção implementado nas empresas de confecção

Apêndice B Ferramentas que podem ser usadas nas fases e actividades da metodologia GCD

Apêndice C Abordagens/métodos para a formação de células

Apêndice D Aplicação da metodologia GCD a um caso industrial



**APÊNDICE A - Questionário sobre o sistema de produção implementado nas empresas de confecção**



## *Questionário sobre o sistema de produção implementado nas empresas de confecção*

No sentido de possibilitar a investigação no domínio de Sistemas de Produção em desenvolvimento na Universidade do Minho – Escola de Engenharia, no seu Centro de Engenharia de Sistemas de Produção (CESP), vimos solicitar a Vossa Excelência a melhor atenção possível na resposta a este questionário.

O objectivo do questionário é conhecer o sistema implementado nas empresas e as dificuldades (ou não) sentidas durante a sua implementação, numa óptica de colaboração Universidade – Indústria.

Informamos ainda que as respostas serão tratadas com estrita confidencialidade, vindo a ser do conhecimento público apenas alguns resultados agregados do tratamento da informação de todos os questionários. Apelamos a um reenvio tão breve quanto possível sendo desejável que fosse cumprido o prazo de 2 semanas. No caso de dúvidas, queira, por favor, contactar os autores do questionário para o endereço de correio electrónico: [anabela@dps.uminho.pt](mailto:anabela@dps.uminho.pt) ou através dos tels. 253604750 ou 253511670 (ext. 7363) ou 93 6195810 com Anabela Alves.

**Por favor, responda às questões seguindo as instruções fornecidas em cada pergunta.**

### Secção I: Informação Geral

- (1) Empresa:
- (2) Há quantos anos labora a empresa?
- (3) Quantas pessoas emprega (aproximadamente)?                      Destas, quantas estão afectas à área fabril?  
Qual a média das idades das pessoas na produção?
- (4) Quantas fábricas tem para a produção?                      Se tiver mais do que uma, por favor, reenvie este questionário aos responsáveis por cada fábrica.

**Continue a preencher o questionário para a fábrica pela qual é responsável.**

### Secção II: Informação sobre os produtos

- (5) Que tipo(s) de produto(s) fabrica? (pode escolher mais que uma opção)
  - Vestuário exterior     Criança     Senhora     Homem     Trabalho
  - Vestuário interior  Criança     Senhora     Homem
  - Outro. Especifique:
- (6) Como classificaria os tipos de produtos que fabrica? (pode escolher mais que uma opção)
  - Básicos     Clássicos     Sazonais     Moda     Alta moda
- (7) Quantas famílias comerciais fabricam?
  - (menos de 5)     (5-10)     (10-25)     (+ de 25)
  - Se souber o número, especifique-o:
- (8) Dentro de cada família considerada, quantos tipos de produtos ou modelos fabricam, em média? (considere um tipo de artigo aquele que requer um processo operatório significativamente diferente podendo justificar, se a quantidade de produção for suficiente, um sistema de produção próprio)
  - (menos de 5)     (5-10)     (10-25)     (+ de 25)
  - Se souber o número, especifique-o:
- (9) Possui colecção própria com marca da empresa?     Sim             Não
- (10) Qual é a percentagem (%) de produção correspondente à colecção?



(11) Com quantos clientes costuma trabalhar?

(12) Liste até 10 tipos de produtos principais diferentes que tenha identificado na pergunta 8:

Tipos principais de produtos	Quantidade (n.º de peças/ano)	% de produção interna do artigo (não subcontrato)

(13) As quantidades a produzir em cada período baseiam-se em (assinale as duas opções se considerar apropriado):

Previsões                    %  
 Encomendas                % Prazos de entrega médios:            semanas.  
    100    Total

**Secção III: Caracterização do sistema de produção**

(14) Quantas linhas ou células tem o seu sistema de produção?

(15) Liste, até 8 células e/ou linhas mais representativas existentes na sua fábrica:

Célula/linha n.º:	N.º de postos de trabalho	N.º de operadores (as)	Tipo de encaminhamento das peças (obra) dentro da célula (veja figura abaixo, assinalando mais do que um, se necessário)
1.			<input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> DT <input type="checkbox"/> T <input type="checkbox"/> TT <input type="checkbox"/> Rp
2.			<input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> DT <input type="checkbox"/> T <input type="checkbox"/> TT <input type="checkbox"/> Rp
3.			<input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> DT <input type="checkbox"/> T <input type="checkbox"/> TT <input type="checkbox"/> Rp
4.			<input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> DT <input type="checkbox"/> T <input type="checkbox"/> TT <input type="checkbox"/> Rp
5.			<input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> DT <input type="checkbox"/> T <input type="checkbox"/> TT <input type="checkbox"/> Rp
6.			<input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> DT <input type="checkbox"/> T <input type="checkbox"/> TT <input type="checkbox"/> Rp
7.			<input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> DT <input type="checkbox"/> T <input type="checkbox"/> TT <input type="checkbox"/> Rp
8.			<input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> DT <input type="checkbox"/> T <input type="checkbox"/> TT <input type="checkbox"/> Rp

**Legenda:**

Encaminhamentos:



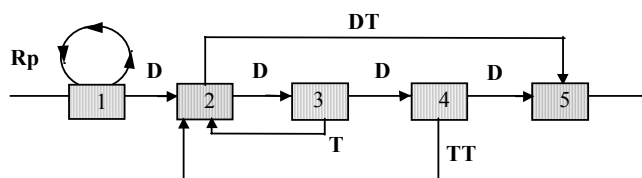
**Rp** - Repetitivo

**D** - Directo

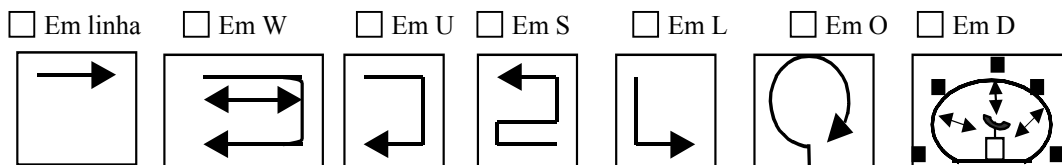
**DT** - Directo com Transposição de máquinas

**T** - Para Trás

**TT** - Para Trás com Transposição de máquinas



(16) Caracterize os subsistemas ou células do sistema de produção relativamente à implantação (veja as figuras abaixo):



(17) Para a formação de células baseou-se nos(as):

- sequências das operações dos produtos
- processos de fabrico similares dos vários produtos
- equipamentos similares necessários por vários produtos
- ordens de fabrico constituídas por produtos similares
- ordens de fabrico constituídas por diferentes produtos
- outro: .

(18) Cada subsistema ou célula fabrica:

- um artigo ou uma família de produtos semelhantes
- uma ordem de fabrico
- outro. Qual? .

(19) Identifique, se possível, os modos operatórios de operação das células:

- automática (sem operadores)
- um operador(a) fixo por posto
- um operador(a) móvel por vários postos não todos seguidos
- operadores(as) móveis do 1º posto ao último posto, repetidamente
- um operador(a) móvel por vários postos seguidos
- sistema de costura Toyota
- “working balance”
- “rabbit chase”
- outro(s). Indique-o (os): .

(20) Identifique o comportamento relativamente à ajuda entre os operadores:

- ajudam-se sempre
- só se ajudam para não atrasar trabalho
- só os operadores lado a lado se entreadam para não atrasar trabalho
- só alguns operadores têm a função de ajudar outros para não atrasar trabalho
- só a chefe de linha vai ajudar para não atrasar trabalho.

- (21) Identifique o modo de trabalho dos operadores:
- trabalham sempre sentados
  - trabalham sempre em pé
  - trabalham sentados mas movimentam-se nas zonas de transferência de trabalho
  - trabalham em pé mas podem sentar-se sempre que sintam necessidade.
- (22) Identifique o tipo de operadores quanto às competências:
- são polivalentes em cada célula
  - operam mais do que uma máquina diferente mas não todas dentro da célula
  - podem executar quaisquer funções na célula
  - são co-responsáveis pela qualidade e quantidade de produção da célula.
- (23) Identifique o modo de transferência e armazenamento de trabalho entre postos:
- é manual
  - é automática
  - faz-se através de um sistema de endereçamento de cabides
  - não existe armazenamento temporário
  - existe armazenamento temporário
  - outro. Descreva-o: .
- (24) Identifique a quantidade de transferência de trabalho entre postos:
- é peça a peça, isto é, a peça de vestuário é transferida logo que é costurada
  - é em pequenas quantidades ou lotes de peças, isto é, as peças só são transferidas para o posto seguinte quando todas as peças do lote são costuradas
- (25) Identifique a independência de funcionamento da célula:
- o funcionamento de cada célula é independente (i.e. sem partilha de recursos)
  - uma ou mais máquinas têm de ser partilhadas por diferentes células ou linhas.
- (26) Identifique o destino de produção dos produtos:
- para “stock”
  - para encomenda.
- (27) Identifique a frequência, em média, de mudança de produtos na célula:
- muito elevada (mais que uma vez por dia)
  - elevada (mais que uma vez por semana)
  - média (mais que uma vez por mês)
  - baixa (uma vez por mês ou menos)
  - nenhuma.
- (28) Identifique a frequência, em média, de alteração das células (redisposição de equipamentos e/ou operadores):
- muito elevada (mais que uma vez por dia)

- elevada (mais que uma vez por semana)
- média (mais que uma vez por mês)
- baixa (uma vez por mês ou menos).

(29) Em que tipos classificaria o seu sistema de controlo de produção:

- JIT
- Kanban
- MRP
- outro. Qual?

(30) De entre as designações seguintes, escolha aquela(s) que **conhece** e aquela(s) que corresponde à **designação** do seu **sistema** de produção:

**Conhece Designação do sistema**

- Linhas de produção
- Células de produção
- “Modular Manufacturing System” /Sistema de Produção Modular
- “Unit Production System” (UPS) /Sistema de produção Unitário
- “One-piece flow”
- “Quick Response System” (QRS) /Sistema de Resposta Rápida
- “Toyota Sewing System” (TSS)
- Grupos de trabalho semi-autónomos
- “Flexible Work Group” (FWG)
- “Linked Cell Manufacturing System” (L-CMS)
- Células "Just In Time"
- Sistema de linha com mesa ou tapete rolante
- Sistema de linha com rampas ("synchro flow")
- Sistema de linha com lote progressivo
- Sistema de linha com interfluxo ("interflow")
- Outro. Qual?

**Secção IV: Implementação do sistema de produção**

(31) Classifique o grau de satisfação com o sistema implementado na empresa, numa escala de 1 a 5 em que “1 – Nada satisfeito” e “5 – Muito satisfeito”:

- 1  2  3  4  5

Porquê?

(32) Teve sempre este sistema ou já teve outro?  Não sei  O mesmo  Outro

Por favor, descreva-o:

(33) Se respondeu “o mesmo” na pergunta anterior, pensa em adoptar outro?

- Sim  Não Qual?

- (34) Se está a pensar em adoptar outro, aponte dos seguintes factores aqueles que contribuíram para a decisão de mudança?
- A empresa não estava satisfeita com o sistema anterior.
  - Outras empresas implementaram este sistema.
  - Alguém da empresa ouviu falar neste sistema e achou que poderia aplicar nesta empresa.
  - Outras razões. Quais?
- (35) Reorganizou recentemente o seu sistema de produção?  Sim  Não
- Se respondeu “não”, prossiga para as perguntas seguintes. Se respondeu “sim”, passe para a pergunta 38.
- (36) Gostaria de vir a reorganizar o seu sistema de produção?  Sim  Não
- (37) Gostaria de ter um sistema que apoiasse essa reorganização sempre que necessite de a fazer?
- Sim. Porque:
  - Não. Porque:
- (38) Como procedeu à reorganização do novo sistema?
- A empresa contratou uma empresa de consultoria.
  - A empresa recorreu apenas à sua experiência.
  - A empresa usou métodos conhecidos.
  - Outro. Qual?
- (39) Classifique como considerou a conversão de um sistema para o outro, numa escala de 1 a 5 em que “1 – Muito difícil” e “5 – Muito fácil”:
- 1  2  3  4  5

Obrigada pela colaboração! Se estiver interessado em conhecer os resultados dê-nos a conhecer a sua intenção quando reenviar o questionário preenchido. Pode reenviar por correio electrónico, por fax ou por carta:

Email: [anabela@dps.uminho.pt](mailto:anabela@dps.uminho.pt)

Fax: 253 604741 (Braga) ou 253 510343 (Guimarães)

Anabela Carvalho Alves  
Universidade do Minho – Escola de Engenharia  
Departamento de Produção e Sistemas  
Campus de Azurém  
4800-058 Guimarães

## **APÊNDICE B - Ferramentas que podem ser utilizadas na metodologia GCD para o projecto de SPOP**



## **B. FERRAMENTAS UTILIZADAS NA METODOLOGIA PARA O PROJECTO DE SPOP**

A Tabela B- 1 apresenta as ferramentas que podem ser utilizadas na metodologia para o projecto de SPOP assim como alguma bibliografia relevante sobre cada uma das ferramentas. A referência a algumas ferramentas a utilizar na metodologia não é exaustiva não se pretendendo limitar a escolha e utilização de outras ferramentas potencialmente úteis na realização de cada uma das fases da metodologia. A aplicação de algumas ferramentas sugeridas é relativamente simples mas não se pode dizer o mesmo de outras. Assim a ajuda de peritos, nomeadamente, na área da análise económica, simulação e programação matemática pode ser necessária na aplicação de ferramentas de análise e no processo de avaliação de alternativas.

### **B.1. Ferramentas para o Projecto Genérico**

No Projecto Genérico avalia-se a necessidade de utilizar SPOP ou outra configuração genérica de sistema de produção face a uma necessidade produtiva expressa pela procura e condições de mercado. Desta forma torna-se fundamental a utilização de ferramentas que ajudem a empresa a tomar conhecimento dessa necessidade e mercado, a ter consciência das suas potencialidades e limitações e a tomar decisões quanto ao sistema de produção face á sua adequação ou não para satisfazer aquela necessidade produtiva.

Algumas das ferramentas podem ser agrupadas de acordo com o objectivo comum que se pretende com a sua utilização tais como as ferramentas para análise de mercado (estudos de mercado, inquéritos aos clientes e modelos de previsão de procura), as ferramentas para análise das competências empresariais (análise SWOT, análise de Valor, análise QFD, Benchmarking e normas ISO 9000), as ferramentas para recolha, organização de dados, identificação dos fluxos produtivos e especificação e representação dos processos produtivos (bases de dados, listas e tabelas, gráficos de processo, fluxogramas, sistemas de codificação e classificação, planos de processo, análise de Pareto) e as ferramentas para análise técnica e económica de sistemas (métodos de análise de decisão de Multiatributos e simulação).

#### **B.1.1. Ferramentas para o Planeamento estratégico da produção**

No Planeamento estratégico da produção são necessárias ferramentas para análises de mercado e técnicas de previsão e análises de competências empresariais que dêem a conhecer as necessidades actuais e futuras dos clientes e do mercado em geral para que a empresa desenvolva esforços no sentido de conjugar estas necessidades com a sua capacidade, nível de desempenho e actividades produtivas. Assim são descritas as ferramentas como os estudos de mercado, os inquéritos aos clientes e modelos de previsão de procura, a análise SWOT, a análise de Valor, a análise QFD, o Benchmarking e as normas ISO 9000.

Um estudo de mercado é uma ferramenta que consiste na recolha e análise de um número de dados de base sobre as vendas de um produto. Este conjunto de dados quantitativos revelam a importância, a estrutura e a evolução das vendas de um produto ou serviço, isto é, permite estudar o mercado em sentido restrito (Lendrevie et al., 1996).

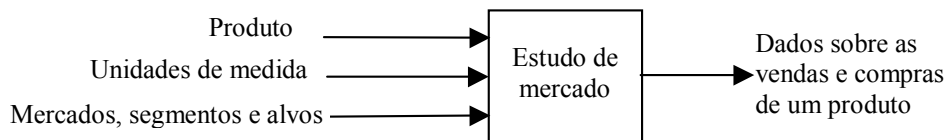


**Tabela B- 1. Ferramentas utilizadas na metodologia para o projecto de SPOP**

	<b>Actividade</b>	<b>Ferramenta ou mecanismo</b>	<b>Referências bibliográficas</b>
Projecto Genérico (A1)	Planeamento estratégico da produção (A11)	Análises de mercado	Thuillier (1987), Lendrevie et al. (1996), Suzaki (1993)
		Inquéritos aos clientes	
		Modelos de previsão de procura	
		Análise SWOT	Nyman (1992)
		Análise de Valor	Thuillier (1987), Gibson et al. (1995)
		Análise “Quality Function Deployment”	Hauser e Clausing (1988), De Meyer et al. (1992), Courtois et al. (1996), Nyman (1992), Higgins et al. (1996)
		“Benchmarking”	Gibson et al. (1995), Schonberger (1996), Suzaki (1993), Nyman (1992)
		ISO 9000	Peach (1992), Nyman (1992), IPQ (1995)
	Análise da empresa e do mercado (A12)	Bases de dados	Encarnação e Lockemann (1990)
		Gráficos de processo, fluxogramas operatórios, listas e tabelas	OIT (1984), Suzaki (1993), Nyman (1992), Courtois et al. (1996)
		Sistemas de codificação e classificação	Groover (1980), Rembold (1985), Tatikonda e Wemmerlov (1992), Billo e Bidanda (1998)
		Análise dos planos de processo	Chang et al. (1991), Wang e Li (1991), Burbidge (1996), Sormaz e Rajaraman. (2003)
		Análise de Pareto, ABC e P/Q	Sekine (1990), Courtois et al. (1996)
Seleção da configuração genérica do sistema de produção (A13)	Modelos de análise de decisão de multiatributo	Canada e Sullivan (1989), Nasr e Dodson (1992), Nyman (1992), Kolli et al. (1994), Noori (1995), Chan e Abhary (1996), Olson (1996), Cantamessa e Turroni (1997), Kalta et al. (1998)	
	Simulação	Hitomi (1979), Burgess et al. (1993), Seifoddini e Djassemi (1997), Suresh (1998)	
Projecto Conceptual (A2)	Seleção da configuração de células conceptuais (A21)	Métodos de Análise Técnica e Económica de Sistemas	Canada e Sullivan (1989), Kolli et al. (1994), Olson (1996)
		Simulação	Sagi e Chen (1995), Kamrani et al. (1995), Chan e Abhary (1996)
	Seleção de postos de trabalho (A22)	Sistemas de bases de dados	Hitomi (1979), Avison e Fitzgerald (1995), Kalta et al. (1998), Burbidge (1996).
		Métodos de planeamento de capacidade produtiva	Gibson et al. (1995), Vollmann et al. (1997)

Projecto Detalhado (A3)	Formação das famílias de peças, subconjuntos e produtos finais (A31)	Abordagens e métodos para a formação das famílias (apêndice C)	Métodos de avaliação técnica e económica	Canada e Sullivan (1989), Nyman (1992), Kolli et al. (1994), Olson (1996)
	Instanciação das células conceptuais (A32)			
	Instanciação dos postos de trabalho (A33)		Estudo de Métodos	OIT (1984)
			Planeamento de processos	Arvindh e Irani (1994), Burbidge (1996)
			Simulação	Black e Schroer (1988, 1994), Sagi e Chen (1995), Nunes (1997)
			Métodos de balanceamento	Wild (1972), Ghosh e Gagnon (1989), Hoffmann (1990), Scholl (1995), Chan et al. (1998) Praça e Ramos (1999), Scholl e Klein (1999), Sabuncuoglu et al. (2000), Bukchin et al. (2002) e Vilarinho e Simaria (2002)
	Organização intracelular e controlo de cada célula (A34) Integração e coordenação do SPOP global e controlo do fluxo intercelular (A35)		Métodos para afectação de operadores	Monden (1983), Slomp et al. (1993), Min e Shin (1993), Molleman e Slomp (1999), Horng et al. (2001), Askin e Huang (2001) e Norman et al. (2002)
			Métodos e sistemas de apoio ao projecto de implantações	Muther (1973), Valle (1975), Tompkins e Moore (1978), Hassan et al. (1986), Rosenblatt (1986), Abdou e Dutta (1990), Shahookar e Mazumder (1991), Montreuil e Venkatadri (1991), Dowlatsahi (1994), Foulds (1997), Vilarinho (1997), Tam e Chan (1998), Alvarenga et al. (2000), Orady et al. (1999), Kochhar e Heragu (1998, 1999), Tavares et al. (1999), Chittratanawat e Noble (1999), Smith e Heim (1999), Azadivar e Wang (2000), Chiang (2001), Lahmar e Benjaafar (2002)
			Métodos de organização e distribuição de operadores	Black e Chen (1995), Bartholdi et al. (1995, 1999), Bartholdi e Eisenstein (1996), Baudin et al. (2003)
			Métodos para sequenciação, lançamento e tamanho do lote	Sridhar e Rajandran (1993), Rajendran e Ziegler (1999), Yang e Liao (1996), Logendran (1998), Reddy e Narendran (2003), Solimanpur et al. (2004), Lockwood et al. (2000), Shahabudeen et al. (2002)
			Diagramas	Muther (1973), Phillips (1997)
			Métodos de avaliação técnica económica	Canada e Sullivan (1989), Kolli (1994), Jeong e Kim (2000), Tempelmeier (2003)

Requisitos para concretizar o estudo passam pela definição do produto ou serviço a estudar, pela definição das unidades de medida (unidades físicas como toneladas ou em termos monetários, ou parque de aparelhos instalados ou vendas) e ainda pela definição do mercado global, dos segmentos desse mercado ou do alvo, isto é, a parte do mercado pertinente que a empresa tem por objectivo conquistar, Figura B- 1.



**Figura B- 1. Entradas e saídas de um estudo de mercado**

Mercado em sentido lato significa o conjunto dos “públicos” susceptíveis de exercer influência no volume de consumo de um produto, isto é, nas vendas desse produto. Estes públicos podem ser indivíduos, empresas ou instituições. Nesta acepção, analisar o mercado implica conhecer os clientes finais actuais ou potenciais, os compradores, os influenciadores e os distribuidores. Conhecer o mercado significa ainda conhecer os concorrentes e os factores de evolução de curto, médio e longo prazo (Lendrevie et al., 1996).

Segundo Thuillier (1987) chama-se estudo de mercado à investigação, à recolha, à análise e à síntese ocasional ou permanente de todas as informações quantitativas ou qualitativas relativas á oferta, á distribuição e à venda de um produto assim como à sua procura, compra ou utilização. Os objectivos de um estudo de um mercado são: posicionar a empresa nos seus mercados, orientar os eixos de investigação produtos/serviços novos, investigar a exploração de oportunidades (licenças ou acordos comerciais, novas ideias de produtos) e estabelecer as previsões a curto e médio prazo da actividade da empresa.

Sinteticamente, e tal como diz Lendrevie et al. (1996), o objectivo dos estudos de mercado é resolver problemas de marketing e fundamentar a tomada de decisões. Sendo assim tornam-se uma ferramenta indispensável no planeamento estratégico da produção principalmente na tomada de decisão de lançar um novo produto ou acabar com um produto existente quando o ciclo de vida deste se encontra na fase de declínio, isto é quando as quantidades a produzir, reduzidas, já não justificam a produção do artigo.

A duração do ciclo de vida e a duração de cada fase individual variam para produtos diferentes logo a gestão da produção face aos ciclos de vida dos produtos envolve uma gestão diferente e um controlo cuidado da mistura dos produtos em estados do ciclo de vida dinamicamente variáveis no sentido de assegurar a eficiência e a eficácia da produção e contribuir para a sustentabilidade da empresa. Por exemplo, para empresas com produtos que têm ciclos de vida longos o esforço está em produzi-los eficiente e economicamente. Para produtos de ciclos de vida curtos é dado ênfase à inovação e desenvolvimento do produto.

A tendência actual é dos ciclos de vida cada vez mais curtos, isto é, os produtos passam pelas fases referidas mais rapidamente o que implica por parte da empresa uma flexibilidade de produzir novos artigos rapidamente para que no momento em que um produto é retirado do mercado outro o possa substituir. Só assim é que a empresa garante a sua sustentabilidade devendo, no entanto, ter um sistema de produção capaz de fornecer os requisitos da flexibilidade e da rapidez de resposta necessárias à

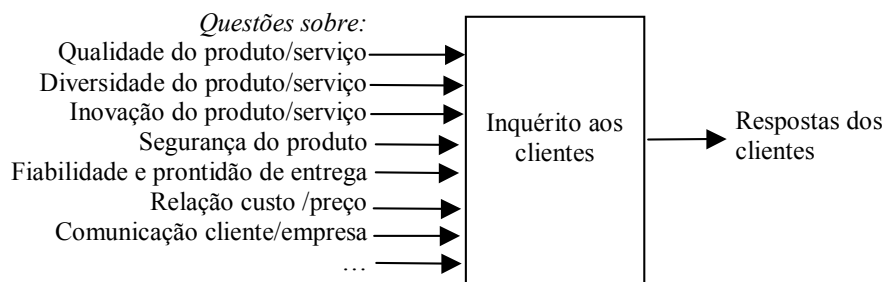
introdução de novos produtos ou a assegurar as diferentes quantidades requeridas durante o ciclo de vida dos produtos.

Os inquéritos são uma ferramenta utilizada para recolher informações, nomeadamente, relativas aos comportamentos dos clientes. Fazem-se com o auxílio de um questionário preestabelecido, cuja redacção é uma consequência da natureza das informações a recolher e deve respeitar um certo número de regras. Este questionário pode ser realizado através de entrevistas directas (inquérito face a face), telefónicas, por correio ou simplesmente por observação (Lendrevie et al., 1996).

O número e a natureza das informações a recolher dependem do problema que se pretende resolver ou do que se pretende saber junto dos clientes ou consumidores. Estas informações podem ser classificadas em quatro grandes categorias relativas às suas características externas, aos seus comportamentos efectivos (o que as pessoas fazem), às suas atitudes (o que é que pensam) e aos seus processos de decisão de compra (como é que decidem) (Lendrevie et al., 1996).

Embora a empresa saiba o que pode produzir e entregar, não sabe quais são as necessidades e expectativas dos consumidores. Tal como os consumidores que sabendo aquilo que pretendem não sabem quem poderá atender às suas pretensões nem quais as potencialidades da empresa. Assim quanto melhor a empresa conhecer os seus clientes melhor os poderá servir.

Assim, os inquéritos servem para recolher opiniões quando a empresa pretende introduzir novos produtos ou pretende saber a opinião do cliente sobre produtos existentes, Figura B- 2. Esta recolha permite à empresa e principalmente à produção (responsável pelo produto) focar a sua atenção naquilo que o cliente realmente quer (Suzaki, 1993). É claro que a produção só pode satisfazer o cliente se tiver um sistema que faça bem e rapidamente o produto exigido.



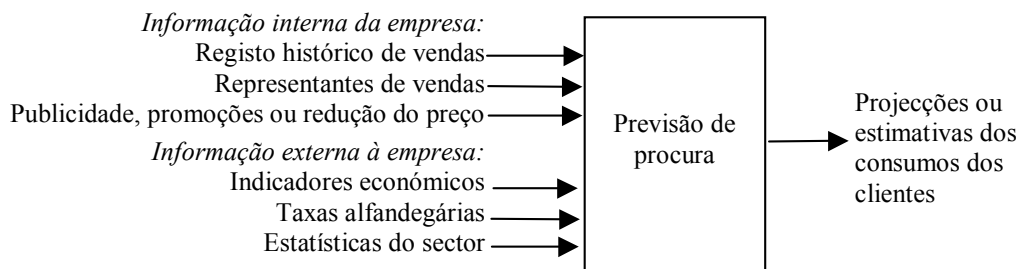
**Figura B- 2. Entradas e saídas de inquérito aos clientes**

As questões chave sobre qualidade, custo e entrega são particularmente relevantes para a identificação de problemas que certamente relacionam-se com o sistema de produção e que levam à tomada de decisão de reconfigurar o sistema existente ou adoptar um novo sistema.

Um produto pode fazer parte de um mercado real (medido pelo volume de vendas efectivo do produto considerado no decurso de um período de referência) ou ainda estar num mercado potencial que é uma estimativa do volume máximo (ou plafond) que poderiam atingir as vendas, num horizonte temporal determinado e sob certas hipóteses bem definidas. A avaliação de um mercado potencial, assim definido, pode fazer-se com o auxílio dos métodos de previsão (Lendrevie et al., 1996).

Os métodos de previsão podem ser agrupados em métodos qualitativos ou subjectivos (opiniões de peritos, métodos analíticos de previsões de vendas, consolidação das

opiniões dos vendedores e inquéritos sobre as intenções de compra), métodos estatísticos de extrapolação de tendências (ajustamento ou alisamento de séries temporais e decomposição de tendências), modelos explicativos (análise de regressão de uma ou mais variáveis, modelos econométricos multivariáveis e modelos microanalíticos) e métodos experimentais (testes e mercados teste) (Lendrevie et al., 1996). Comum a estes grupos de métodos tem-se as informações necessárias (uns requerem mais informações que outros) para desenvolver a actividade da previsão da procura e o objectivo que se pretende atingir, Figura B- 3.



**Figura B- 3. Entradas e saídas da previsão de procura**

Os modelos de previsão de procura têm, assim, como objectivo tentar prever ou antecipar a procura para determinado produto no sentido de estabelecer directivas estratégicas e produtivas na empresa.

Estas directivas têm de ser implementadas de forma a conciliar os responsáveis pela produção e os responsáveis pelas vendas cujos objectivos são, por vezes, antagónicos pois se os primeiros lutam pela maximização da produção e a minimização dos custos, os segundos realçam as relações privilegiadas com este ou com aquele cliente e a necessidade de entregar rapidamente (Thuillier, 1987).

Uma vez que a previsão de vendas se relaciona com a capacidade de produção é essencial que os responsáveis pelas vendas estabeleçam o seu plano de acção tomando em consideração os desejos dos clientes e as limitações da empresa e os responsáveis pela produção devem saber adaptar-se às necessidades do mercado, definidas pelo marketing, e devem assegurar uma concepção modular dos produtos e adaptar a capacidade às necessidades do mercado a conquistar. Para isso é necessário que tenham um sistema capaz de se adaptar, um sistema projectado atendendo ao produto que se pretende produzir.

A análise SWOT<sup>30</sup> é uma ferramenta útil na identificação dos pontos fortes (S), pontos fracos (W), oportunidades (O) e ameaças (T) da empresa.

**S:** Pontos fortes são recursos ou capacidades que podem ser utilizadas efectivamente para encontrar os objectivos da empresa,

**W:** Pontos fracos são limitações, falhas ou defeitos dentro da empresa,

**O:** Oportunidades representam situações favoráveis no ambiente circulante da empresa, por exemplo alterações nas leis que afectam a indústria, novas tecnologias, novas necessidades do mercado e

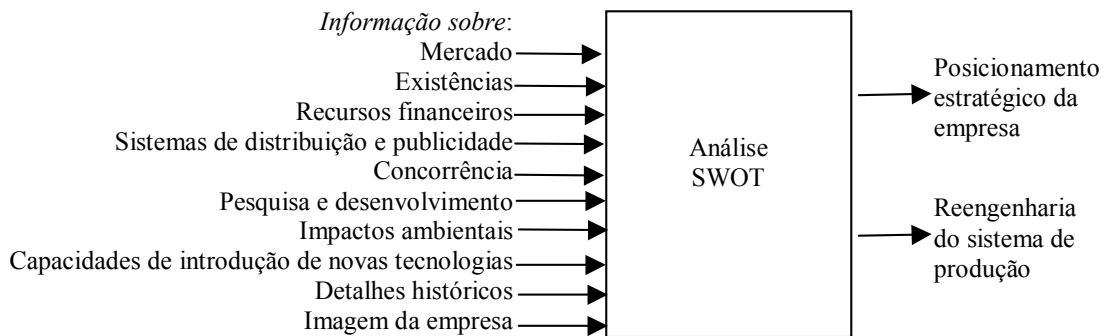
**T:** Ameaças são condições desfavoráveis que se podem tornar arriscadas para a empresa.

A identificação desses pontos fortes e dos pontos fracos ajuda a definir os objectivos estratégicos da empresa, fazendo tudo para manter esses pontos fortes e eliminar os pontos fracos. As oportunidades identificadas indicam á empresa em que sentido deve

---

<sup>30</sup> Strengths, Weaknesses, Opportunities e Threats.

caminhar. Por sua vez, as ameaças alertam a empresa e permitem que esta se prepare reduzindo-as ou evitando-as. A aplicação correcta desta técnica exige muitas informações que podem ser fornecidas por todas as secções da empresa, Figura B- 4.



**Figura B- 4. Entradas e saídas de uma análise SWOT**

Assim a análise SWOT pode ajudar na determinação do posicionamento estratégico da empresa e no reconhecimento de uma reengenharia dos seus sistemas com particular relevância para o sistema de produção pois pode ser ele a chave para atingir os objectivos estratégicos ou a solução para os problemas da empresa principalmente os relacionados com prazos de entrega e trabalhos em curso, resposta e serviço ao cliente (Nyman, 1992).

A Análise de Valor é uma técnica que ajuda no projecto de produtos com valor através da tradução das necessidades dos clientes nas especificações do produto (Gibson et al., 1995). O valor pode-se definir como a medida de utilidade ou da satisfação que se retira de um produto. Este “valor” do produto, captado pelo cliente, é o resultado de um certo número de valores (valor de utilização, valor de estima, valor económico real, valor de perfeição) aos quais cada cliente dá mais ou menos importância (Thuillier, 1987).

O objectivo da Análise de Valor é acrescentar valor ao produto que existe ou vai ser concebido atendendo aos requisitos dos clientes. Normalmente aplicada a produtos existentes tem sido aplicada aos produtos na sua fase de projecto através de uma variante desta técnica, a Engenharia de Valor (Gibson et al., 1995).

A técnica consiste numa série de passos que muito sumariamente são descritos como:

- a) definir o produto a ser analisado (por ex.: um produto com poucas vendas ou com muitas queixas)
- b) recolher os dados (por ex.: reacções dos clientes, vendas, problemas da produção,...)
- c) análise crítica – série de questões sobre a utilização do produto (quem utiliza?, para quê?, onde?, como? e porquê?), materiais que emprega, processos utilizados, recursos humanos, custo, valor de estima, estética
- d) especulação – usar a informação de c) para formar sugestões sobre causas e ideias para melhoramento
- e) análise e avaliação de viabilidade e custos das ideias sugeridas
- f) escolha e recomendação
- g) implementação

Esta técnica mostra que podem ser realizadas mudanças de projecto (no produto e no processo) de forma a melhorar a resposta ao cliente aumentando a satisfação deste e a tornar mais eficiente o processo de acrescentar valor ao produto reduzindo ou eliminando as actividades que não acrescentam valor.

Os benefícios desta técnica, além do aumento da satisfação do cliente já referido, são redução dos custos, utilização de processos de produção mais baratos, eliminação de algumas operações, utilização de materiais mais baratos, remoção de características que não têm qualquer função, utilização de peças normalizadas, garantia de contenção de custos e produção de um produto mais estético (Gibson et al., 1995).

De uma maneira geral, os benefícios trazidos pela análise de Valor podem ainda contribuir para o projecto do sistema mais adequado ou repensar o sistema existente de modo que este reflecta as mudanças sugeridas pela técnica. O sistema adequado passa pela adopção de um Sistema de Produção Orientado ao Produto pois a normalização dos produtos pode conduzir à criação de células constituídas para um produto ou família, onde só as actividades directamente relacionadas com a produção do produto em causa são consideradas e, uma vez, as células implantadas torna-se mais fácil identificar na célula as actividades que não acrescentam valor ao produto e eliminá-las.

Hauser e Clausing (1988) designam de “Casa da Qualidade” o Desenvolvimento de Função de Qualidade (QFD) que segundo os autores é uma ferramenta de projecto básica utilizada pela primeira vez em 1972 na fábrica da Mitsubishi Kobe. A focagem desta ferramenta seria a de coordenação de esforços dentro da empresa, primeiro de projecto depois de produção e venda de produtos que os clientes querem comprar. Para isso, os responsáveis das vendas, da produção e os projectistas deveriam trabalhar juntos desde a concepção do produto. No capítulo 4 apresenta-se uma metodologia, metodologia *Total Quality Development*, que incluía esta ferramenta.

Segundo De Meyer (1992) QFD é um conjunto de técnicas para determinar e transmitir os requisitos do consumidor e traduzi-los em especificações para concepção de produtos e serviços e em métodos de produção. Courtois et al. (1996) considera que QFD é uma ferramenta importante para traduzir de forma adequada as expectativas e necessidades do cliente em especificações internas da empresa ao longo do desenvolvimento do produto.

Este processo utiliza para o efeito uma série de matrizes chamadas de casas por causa da sua forma, Figura B- 5 (Hauser e Clausing, 1988) onde cada casa é uma matriz com os requisitos no lado esquerdo e as características que preenchem estes requisitos no topo.

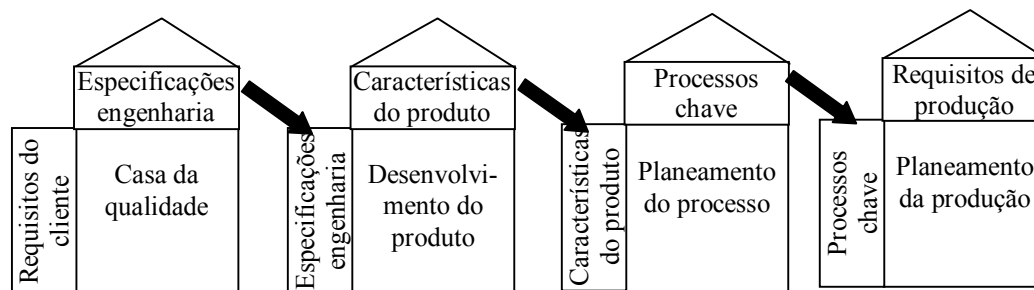


Figura B- 5. Matrizes de desenvolvimento da Função de Qualidade

O processo começa pela esquerda da figura, com a “Casa da Qualidade”. Esta matriz traduz os requisitos do cliente em especificações de engenharia. As células das matrizes são preenchidas quando as especificações emparelham com os requisitos, isto é, quando a um requisito corresponde uma especificação existente. Se isto não acontece importa saber o quanto este requisito é importante para o cliente e o quanto vai custar á empresa satisfazê-lo ou não (Nyman, 1992).

Como se pode observar pela figura as saídas da primeira matriz são as entradas da segunda e assim por diante. Uma vez definidas as características do produto, os processos de produção são preparados para consegui-las, podendo estar implícito nesta preparação a mudança do sistema existente ou a implementação de outro sistema, nomeadamente Sistemas Orientados ao Produto. Embora se possam manifestar desde o início do processo de QFD, é nas duas últimas “casas” que a pertinência dos SPOP se manifestam mais fortemente.

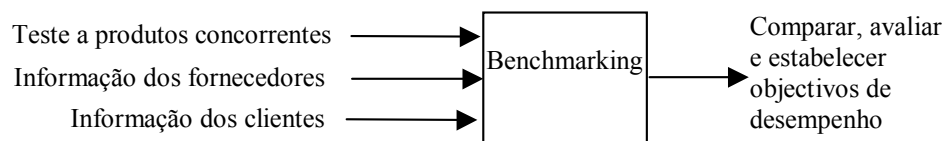
Higgins et al. (1996) considera que QFD pode ainda ajudar no processo de planeamento estratégico assegurando que as directivas produtivas são orientadas ao cliente. Isto é conseguido considerando que as directivas e medidas num nível passam a objectivos no nível seguinte de planeamento onde o processo de determinar directivas e medidas é repetido continuamente até que todas as directivas dependentes sejam identificadas.

Segundo Gibson et al. (1995) *benchmarking* é um método que permite às empresas compararem o seu desempenho com uma empresa ou unidade organizacional reconhecida como sendo a melhor numa dada actividade, função ou capacidade importante ao próprio sucesso da empresa que procura tornar-se melhor. Tempos de ciclo dos processos, taxas de defeitos, nível de trabalhos em cursos, tempo médio de entrega do produto, tempo médio de desenvolvimento do produto são medidas que podem ser comparadas com empresas normalmente reconhecidas com elevado desempenho.

Uma empresa pretendendo proceder a este tipo de análise necessita escolher a actividade e a empresa com a qual se pretende comparar de forma a medir o seu desempenho e, claro, melhorá-lo. Neste sentido este mecanismo pode levar a empresa a adoptar determinada estratégia porque reconhece que foi essa estratégia que levou a empresa de referência ao sucesso.

Empresas como a Xerox e a Hewlett-Packard iniciaram esta prática há muito tempo tornando públicos os seus níveis de desempenho actuais em certas medidas chave disponíveis (qualidade, custo e entrega) (Suzaki, 1993).

O *benchmarking* também é usado como uma fonte externa de informações que muitas empresas utilizam para comparar e avaliar o seu desempenho ou, até mesmo, estabelecer objectivos, Figura B- 6 (Schonberger, 1996).



**Figura B- 6. Entradas e saídas do benchmarking**

Os estudos de *benchmarking* podem ainda ser praticados para avaliar os métodos de trabalho e encontrar formas de melhoramento pelo envolvimento de pessoas no espaço fabril podendo conduzir à necessidade dum alteração ou concepção do sistema de produção.

Não sendo um processo fácil de conseguir permite, pelo menos que a empresa conheça as melhores práticas externas e contribui para o enquadramento da empresa no mercado (Nyman, 1992).

As ISO 9000 (ISO 9001, ISO 9002, ISO 9003, ISO 9004) são um conjunto de normas de qualidade que tem como objectivo avaliar se a empresa é capaz de produzir os seus



produtos de acordo com determinadas especificações, desde a sua concepção até à assistência pós venda e cuja implementação conduz à certificação da empresa (Peach, 1992).

A certificação de uma empresa por estas normas significa que existe na empresa garantia da qualidade do processo de fabrico. Para conseguir esta certificação, a empresa deve cumprir requisitos estabelecidos pelas normas pelo que a implementação destas ajuda a empresa a definir o futuro no sentido que a “obriga” a repensar e a reorganizar o seu funcionamento (Nyman, 1992).

Nestas normas pode ler-se que a empresa deve estabelecer e manter procedimentos documentados para a identificação do produto, por meios adequados, desde a recepção e durante todas as fases de produção, entrega e instalação e ainda que deve identificar e programar os processos de produção, instalação e assistência após venda que afectam directamente a qualidade, devendo assegurar que estes processos são conduzidos sob condições controladas (Instituto Português da Qualidade, 1995). Na maioria nas empresas, isto não acontecia e são muitas aquelas onde ainda se vive uma situação caótica de produtos “perdidos” pela empresa, da falta de um inventário do equipamento existente, falta de manutenção,...

Estes são pontos importantes e relevantes que forçam a empresa a repensar no sistema de produção pois ao tratarem dos requisitos do sistema de qualidade em termos de identificação e rastreabilidade do produto e do controlo dos processos estão a relacionar-se directamente com o sistema implantado mostrando que talvez não seja o mais adequado para ajudar a empresa a conseguir certificação.

### **B.1.2. Ferramentas para a análise da empresa e do mercado**

Dependendo da forma como a empresa tem os dados e a informação armazenada e da forma como pode ser acedida, o desenvolvimento desta actividade pode realizar-se facilmente ou tornar-se uma tarefa exaustiva. Mesmo que algumas destas ferramentas não existam, na recolha das informações e organização dos dados a utilização de algumas delas é indispensável como as bases de dados, as listas e as tabelas. Na especificação ou representação dos processos produtivos e na identificação dos fluxos de produção e recursos outras ferramentas são fundamentais como os gráficos de processo, os fluxogramas operatórios, os sistemas de classificação e codificação, os planos de processo e a análise de Pareto.

Face à imensa necessidade de armazenagem e manipulação de informação requerida nas empresas, os sistemas de bases de dados são a ferramenta mais adequada para lidar com este problema no sentido de, não só permitir esta armazenagem mas também o de permitir a manipulação, isto é, a consulta, o acesso, a análise e distribuição dos dados sobre os produtos, recursos, processos, clientes, fornecedores e da informação sobre as ordens de fabrico, absentismo, competências, disponibilidade de recursos e todas as outras entidades que a empresa pretenda guardar e manipular.

O sistema de bases de dados providencia a gestão de longo prazo, segura e fidedigna dos dados e sua recuperação através de um critério individual (às vezes espontâneo) num ambiente de múltiplos utilizadores. De um ponto de vista estrutural, um sistema de bases de dados é uma compilação de dados armazenados com a sua descrição (a base de dados) e um sistema hardware/software para a sua gestão, modificação e recuperação (o sistema de gestão da bases de dados ou DBMS – Database Management System) (Encarnação e Lockemann, 1990).

A existência de bases de dados nesta actividade facilita o trabalho de recolha dos dados para caracterizar a situação actual em termos de produtos, processos e recursos que a empresa produz e utiliza. Na ausência destas, a caracterização da situação actual pode ser um incentivo ao projecto de um sistema de bases de dados que incorpore estes e outros dados.

Os gráficos de análise de processo, os fluxogramas operatórios, as listas e tabelas são apenas alguns exemplos de ferramentas passíveis de serem utilizadas nesta actividade pois o objectivo é caracterizar o melhor possível a situação actual, identificar os problemas existentes na empresa e ajudar a definir o nível operacional que a empresa apresenta.

Os gráficos de sequência indicam a sequência de um processo. Exemplo deste tipo de gráfico é o de análise de processo que é um gráfico de análise que permite uma visão de conjunto das operações de um processo ou de uma actividade, indicando somente como se sucedem as principais operações e os principais controlos. Uma vez obtido este, a análise pode ser aprofundada com os gráficos de sequência - executante, sequência - matéria e sequência - material onde é registado o que faz o trabalhador, como a matéria é transformada ou movimentada e como o material é utilizado, respectivamente, utilizando para tal uma simbologia adequada e reconhecida (OIT, 1984).

Os fluxogramas operatórios (semelhante ao gráfico de análise de processo) permitem representar a sequência das operações necessárias ao fabrico de um produto facilitando o processo de identificação do fluxo de material e a visualização da importância das operações sem valor acrescentado relativamente às de valor acrescentado (Courtois et al., 1996).

As tabelas, além de serem parte integrante das bases de dados pois os dados são armazenados neste formato, são também uma boa forma de registo de dados que quer numa folha de papel ou numa folha de cálculo são sempre compatíveis com a base de dados. Os resultados de operações sobre a base de dados aparecem em tabelas ou em listas.

Os dados em tabelas, folhas de cálculo, matrizes são fundamentais para algumas abordagens de projecto de SPOP ou para a selecção/formação de artigos ou famílias de artigos (Chan e Milner, 1982), assim se a recolha destes se fizer nestes formatos a sua aplicação fica mais facilitada.

Suzaki (1993) dá uma lista extensiva de ferramentas que podem ser utilizadas para expor, identificar, diagnosticar e solucionar problemas. Este autor apresenta ainda descrições de exemplos de utilização de algumas delas. Estas ferramentas podem ser utilizadas em combinação e dependendo da área de responsabilidade da pessoa e da natureza do estudo algumas podem ser mais eficazes que outras.

As listas de verificação são uma dessas ferramentas (talvez das mais simples) que ajudam a identificar e diagnosticar problemas através da indicação dos níveis de manutenção das máquinas, atendimento, concordância com certos procedimentos de trabalho, inspecção, limpeza e organização. A avaliação do nível operacional também pode ser realizada com a ajuda de listas de verificação onde a resposta às questões colocadas nestas listas obrigam todos a pensar o que se anda a fazer e se realmente é isso que pretendem (Suzaki, 1993).

Os sistemas de classificação e codificação são sistemas que organizam entidades similares em grupos (classificação) atribuindo depois um código a estas entidades

(codificação) de forma a facilitar a recuperação da informação (Tatikonda e Wemmerlov, 1992).

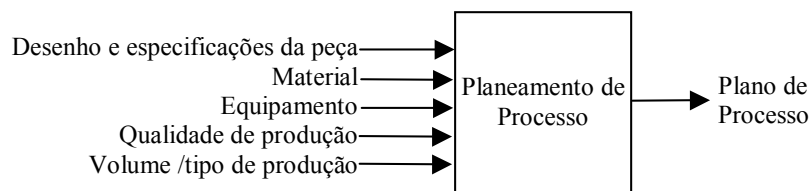
O sistema de classificação e codificação baseia-se, principalmente, em três categorias: nos atributos de projecto, nos atributos de produção das peças ou em ambos os atributos. Os atributos de projecto são as características ou atributos dos artigos como, por exemplo, forma, função, dimensão, tipo de material, tolerância e acabamento. Os atributos de produção são por exemplo, o processo principal, a sequência de operações, o tempo de produção, o tamanho do lote, as máquinas, as ferramentas e a produção anual (Groover, 1980).

A existência de um sistema de codificação e classificação possibilita obter informações sobre as famílias de peças, permite a selecção automática de peças normalizadas, de máquinas-ferramentas, de ferramentas e dispositivos de fixação, permite a geração automática de detalhes de custos, de prazos de fabrico, de sequências de processamento de cada peça e informação de encomendas e afectação de material (Rembold, 1985). Constitui assim, um meio precioso através do qual se pode recolher a informação necessária na análise da situação actual.

Embora aqui se discuta a instrumentalidade dos sistemas de CC na análise da situação actual não se pode deixar de lembrar que o papel deste tipo de sistema é bem mais interessante na actividade de selecção/formação dos artigos ou famílias de artigos na medida em que a classificação dos artigos em grupos baseados nos atributos dos artigos facilitam a recuperação de informação relativa à família através do código atribuído podendo assim conduzir à identificação de famílias candidatas a serem produzidas em SPOP. Este sistema, quando projectado e implementado num DBMS, torna-se mais eficaz, mais fácil e mais económico (Billo e Bidanda, 1998).

A preparação do plano de processo faz parte da função do planeamento de processos. O planeamento de processo é o acto de preparar instruções detalhadas das operações para transformar um projecto de engenharia num produto final, Figura B- 7. O plano detalhado contém o caminho, processos, parâmetros de processo, máquinas e ferramentas necessárias à produção (Chang et al., 1991). Com a ajuda do computador (CAPP)<sup>31</sup>, com a representação e visualização dos planos de processo (Sormaz e Rajaraman, 2003) o processo de preparação de planos de processo tende a simplificar-se mas não é uma tarefa fácil.

Nos planos de processo estão contidos dados sobre os processos de fabrico como o nome e número da peça a ser produzida, o nome e número das operações envolvidas no fabrico da peça, o tempo que demora cada operação, o sistema de fixação, posicionamento e manuseamento e as ferramentas usadas entre outros (Wang e Li, 1991).



**Figura B- 7. Entradas e saídas de um planeamento do processo**

---

<sup>31</sup> Computer Aided Process Planning

Normalmente, o plano de processo existe nas empresas apenas variando muitas vezes o grau de detalhe de empresa para empresa, existindo ainda, por vezes, planos de processo alternativos para os produtos. A existência destes planos na empresa são uma fonte de informações sobre as operações, processos, recursos e relação entre eles permitindo recolher mais rapidamente os dados para a caracterização da situação actual.

Além da utilização dada nesta actividade aos planos de processo que derivam de um planeamento de processo, a sua instrumentalidade é bem mais do que isto pois os dados contidos nestes planos são necessários à maioria das abordagens para a selecção/formação dos artigos ou famílias de artigos seja na forma de matrizes de peças/máquinas dos algoritmos de agrupamento seja na forma dos planos de processo utilizados na *Production Flow Analysis* (Burbidge, 1996) que podem até vir a ser modificados (numa fase posterior da metodologia para o projecto de SPOP) devido à existência de fluxos intercelulares.

O conhecimento dos planos de processo alternativos no desenvolvimento das células são também importantes pois permitem maior flexibilidade na escolha da célula e podem evitar a partilha das máquinas. Algoritmos que tenham estes planos em consideração podem ser mais preferidos, esta é uma preocupação do trabalho de Sormaz e Rajaraman (2003).

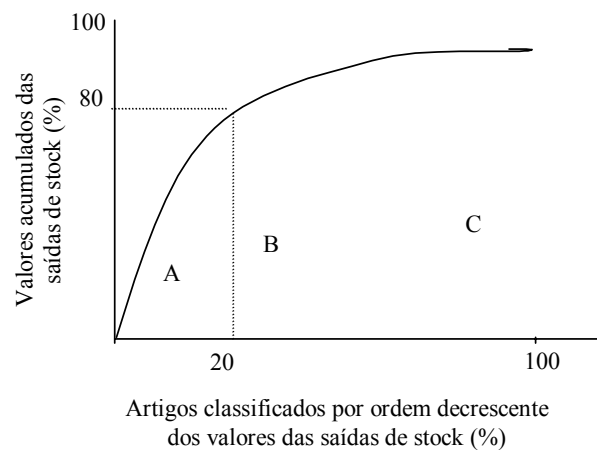
A análise de Pareto, aplicada pela primeira vez por um economista italiano do século XVIII, Vilfredo Pareto, baseia-se no princípio de que 80% dos resultados são causados por 20% dos eventos que acontecem enquanto os 80% restantes são responsáveis apenas por 20%, razão pela qual é, muitas vezes, designada de regra 80/20. Este princípio geral pode ser adaptado a cada caso daí a sua utilização nas áreas mais diversas da empresa, nomeadamente na qualidade, no aprovisionamento, no comercial,...

Como exemplo tem-se a análise ou classificação ABC utilizada nos modelos de aprovisionamento que consiste em diferenciar os artigos consoante o valor de saídas anuais de stock. Esta classificação no princípio referido que se pode enunciar neste caso: cerca de 20% dos artigos representam 80% do valor total das saídas enquanto os 80% restantes são responsáveis apenas por 20% (Courtois et al., 1996).

Os artigos são ordenados numa tabela por ordem decrescente dos totais de valor das saídas anuais de stock calculando-se de seguida as percentagens respectivas em valor e em número de artigos. Nesta tabela identifica-se os 20% do número total de artigos que correspondem a 80% (ou próximo) das saídas anuais. Estes artigos correspondem à classe A.

Nos restantes 80% do número total de artigos estão as classes B e C. Estas classes dos artigos podem representar-se graficamente numa curva ABC ou curva de Pareto onde as abcissas correspondem aos diferentes artigos e as ordenadas ao valor acumulado das saídas em stock, Figura B- 8 (Courtois et al., 1996).

A análise Produto/Quantidade é bastante semelhante à análise ABC utilizada nos modelos de aprovisionamento. Como o nome sugere a análise P/Q ordena as quantidades dos produtos por tipo de produto ou por tipo de destino (clientes) (Sekine, 1990). Embora Sekine (1990) alerte que a análise P/Q não pode ser confundida com a análise ABC ou a análise de Pareto pois a primeira não tem no eixo vertical os valores monetários, a verdade é que estes podem não aparecer se se estiver a preparar uma análise ABC por quantidade e não por valor.



**Figura B- 8. Exemplo de uma curva ABC**

Durante o desenvolvimento desta actividade, esta ferramenta pode ajudar ainda na identificação dos produtos que mais contribuem para o fluxo produtivo da empresa, na identificação dos produtos que são mais representativos em termos de valor (análise ABC por valor) e na identificação das famílias de produtos o que pode também ser um indicador da possibilidade de projectar um SPOP e daí este tipo de análise ser também relevante para a selecção/formação dos artigos ou famílias de artigos.

### **B.1.3. Ferramentas para a selecção da configuração genérica do sistema de produção**

A selecção entre a configuração orientada ao produto e a configuração orientada à função pressupõe a avaliação de muitos e conflituosos critérios, nos quais se deve basear a justificação da selecção de uma delas. Métodos baseados em múltiplos critérios capazes de justificar a selecção e adopção de uma configuração devem aqui ser utilizados. Exemplos destes métodos são os métodos de análise de decisão de multiatributo. A simulação é também nesta actividade utilizada como ferramenta de análise técnica e selecção de uma configuração.

A utilização de outras ferramentas de análise podem e devem ser utilizadas. Estimativas do custo e desempenho de cada um dos tipos de sistemas deve ser realizada por quaisquer meios. Não se excluem modelos de filas de espera, de análise de risco, de custos industriais e avaliações iniciais de investimentos entre outros.

O objectivo dos métodos de análise de decisão de multiatributo é ajudar a tomar uma decisão em problemas que envolvem múltiplos objectivos, atributos, critérios ou factores e fornecer técnicas e meios para classificar, ordenar e seleccionar alternativas de acordo com as prioridades daqueles que têm de tomar decisões (Chan e Abhary, 1996).

Exemplos de métodos de análise de decisão de multiatributo são os modelos de análise pesada de factores (WFA)<sup>32</sup>, processo hierárquico analítico (AHP)<sup>33</sup>, programação por meta (GP)<sup>34</sup> e modelos de utilidade (Canada e Sullivan, 1989). Os modelos de utilidade são capazes de lidar com a incerteza e o risco envolvidos num projecto e são por isso denominados de métodos não determinísticos ou estocásticos enquanto que os outros

---

<sup>32</sup> Weighted Factor Analysis

<sup>33</sup> Analytic Hierarchy Process

<sup>34</sup> Goal Programming

assumem determinados valores como conhecidos e são designados de determinísticos (Nasr e Dodson, 1992).

Na análise pesada de factores (WFA) (Nyman, 1992) quantifica-se os factores qualitativos escolhidos para comparar as alternativas (referido e utilizado várias vezes no capítulo 5). Pode-se assim seleccionar e ordenar as alternativas com base em valores quantitativos. Esta quantificação é já um passo da aplicação do método de análise pesada de factores (WFA) que permite a ordenação das alternativas e selecção daquela que somar mais valores.

O processo hierárquico analítico (AHP) utiliza um procedimento de avaliação e selecção que consiste numa sequência de quatro passos sendo o quarto passo opcional. Resumidamente os passos são:

1. Determinar a importância relativa dos atributos e subatributos
2. Determinar o peso relativo de cada alternativa em relação a cada subatributo, se aplicável, e depois sucessivamente em relação a cada atributo
3. Determinar o peso global prioritário de cada alternativa
4. Determinar os indicadores de consistência ao fazer combinações pares

Na importância dada aos atributos raramente existe consenso no valor atribuído pois esta atribuição envolve pessoas com diferentes percepções e julgamentos. Assim mudar o valor atribuído a determinado atributo pode afectar significativamente a decisão a tomar, o que pode ser visto como uma limitação importante do método sugerindo que deverá ser complementado com outras formas de avaliação. Desta limitação e na tentativa de a resolver aplica-se o quarto passo do procedimento. Para resolver este quarto passo recorre-se muitas vezes à análise da sensibilidade que tenta minimizar o efeito dos factores de percepção diferentes e esperados no julgamentos dos atributos (Canada e Sullivan, 1989).

Apesar do método AHP não ser muito formal tem a grande vantagem de recorrer à perícia e experiência das pessoas, incluindo na avaliação factores intangíveis tais como flexibilidade, integração, conhecimento entre outros. Estes possibilitam assim, ao contrário dos métodos tradicionais de justificação económica que baseiam a avaliação das alternativas apenas em termos financeiros com taxas de interesse inapropriadas, reconhecer e avaliar muitos dos benefícios das configurações, benefícios estes não monetários e difíceis de quantificar (Noori, 1995).

Canada e Sullivan (1989) apresentam um exemplo que emprega esta técnica para justificar a implementação de um SPOP face à avaliação de duas configurações possíveis para o sistema de produção: um SPOP e um SPOF. Cantamessa e Turroni (1997) também usam a técnica AHP para estudar um conjunto de configurações de sistemas de produção (inclui o SPOF) e avaliar a adequabilidade de cada uma delas.

A programação por meta (GP) é capaz de manusear múltiplos objectivos conflituosos tendo em conta as prioridades atribuídas aos objectivos. Este método teve origem nos modelos de programação matemática. Assim, em GP define-se uma função objectivo que tenta minimizar os desvios entre as metas a atingir e aquilo que pode ser conseguido, atendendo às restrições para o problema. O principal inconveniente deste método é a formulação de um modelo para a sua aplicação em problemas reais (Canada e Sullivan, 1989).

Os modelos de utilidade consideram as preferências dos atributos expressas na forma de funções de utilidade de forma a seleccionar a alternativa mais satisfatória. Estas funções

de utilidade podem ser funções aditivas ou multiplicativas. Uma das dificuldades deste método prende-se com os compromissos a assumir durante o processo de formulação dos modelos de utilidade (Kolli et al., 1994).

Há autores, nomeadamente, Kolli et al. (1994) que integram ainda nos métodos de análise de decisão de multiatributo os sistemas periciais (SP) e os sistemas de apoio à decisão (SAD). Independentemente de se integrarem ou não nos métodos referidos, a verdade é que os sistemas periciais e os sistemas de apoio à decisão constituem duas ferramentas utilizadas na avaliação e selecção de alternativas que consideram os critérios pretendidos e ajudam na selecção de uma alternativa.

Um sistema pericial consiste numa aplicação informática capaz de resolver problemas complexos, por certas regras e um mecanismo lógico. As regras tentam emular o processo de raciocínio das pessoas num domínio específico. Os sistemas periciais conseguem resolver problemas com dados incompletos e inexactos, isto quer dizer que são capazes de lidar com a incerteza (Canada e Sullivan, 1989).

Um sistema de apoio à decisão inclui um modelo que pode ser um conjunto de técnicas de optimização, financeiras ou de simulação, uma base de dados e um terminal através do qual o utilizador interacciona com o modelo para obter soluções ao problema equacionado (Kolli et al., 1994). Kalta et al. (1998) desenvolveram um sistema de apoio à decisão para apoiar a avaliação de configurações de células de montagem na indústria do vestuário.

A determinação do método de análise de decisão de multiatributo ou métodos a usar depende da situação e do problema em causa e da informação requerida para a sua aplicação (Olson, 1996).

Os modelos de simulação são uma representação abstracta de uma situação ou comportamento real através de uma linguagem ou aplicação adequada. Uma vez que o modelo é uma representação explícita da realidade é geralmente menos complexo que a realidade, mas é importante que seja suficientemente completo para se aproximar aos aspectos da realidade que está a ser investigada. Assim tornam-se uma ferramenta que pode ser usada no projecto ou na reengenharia de sistemas onde são manipulados os parâmetros, variáveis, restrições e alternativas. Estes modelos ajudam na tomada de decisão adequada através da determinação eficiente e económica do comportamento e configuração do sistema e dos procedimentos operatórios, regras de despacho e decisão para ir de encontro aos objectivos do sistema (Hitomi, 1979).

A simulação, enquanto mecanismo da actividade de selecção da configuração genérica do sistema de produção, pode ser usada como uma ferramenta para construção de modelos alternativos de sistemas de produção. Por exemplo, pode-se construir um modelo que representa um SPOF e outro modelo para representar um SPOP. Depois da implementação destes modelos no computador pode-se comparar medidas de desempenho obtidas por um e por outro modelo e descobrir aquele que melhor se adapta às necessidades e condições impostas. Como exemplo desta utilização tem-se os trabalhos de Burgess et al. (1993), Seifoddini e Djassemi (1997) e Logendran e Talkington (1997).

A simulação tem sido bastante aplicada na comparação do desempenho dos sistemas celulares e sistemas funcionais. Este facto é reconhecido por Suresh (1998) que sumariou alguns dos estudos realizados sobre a avaliação e comparação entre sistemas

funcionais e sistemas celulares. O autor atribui este facto à complexidade destes sistemas e à impossibilidade de os tratar de uma forma analítica.

## **B.2. Ferramentas para o Projecto Conceptual**

As ferramentas utilizadas no Projecto Conceptual destinam-se a ajudar nas tarefas de análise, comparação, avaliação e selecção de configurações conceptuais de Sistemas de Produção Orientados ao Produto (métodos de análise económica, métodos de análise de decisão de multiatributo e simulação), ajudar na recuperação e manipulação dos dados (sistemas de bases de dados) e ainda métodos e ferramentas para o planeamento da capacidade produtiva e balanceamento agregado de carga.

### **B.2.1. Ferramentas para a selecção das configurações conceptuais e de postos de trabalho**

A análise e selecção das configurações alternativas são realizadas recorrendo aos métodos de análise de decisão de multiatributo e à simulação, à semelhança do que se faz na fase do Projecto Genérico, embora nesta actividade a manipulação de informação menos agregada e a análise de situações mais detalhadas possibilitem a utilização de um ou mais métodos de análise económica.

Na actividade de selecção dos postos de trabalho torna-se necessário utilizar ferramentas que permitem especificar o tipo de artigos, o tipo funcional do equipamento e tipo de operadores e estimar a quantidade previsível de cada artigo, equipamento e operadores a utilizar em cada SPOP identificado. Assim a recorrência aos sistemas de bases de dados existentes ou preparados na análise da situação actual é inevitável para extrair de lá todas as informações sobre os artigos, equipamento e operadores. Além desta ferramenta, métodos para planeamento da capacidade produtiva para estimar as quantidades de cada tipo de artigo, cada tipo de equipamento e cada tipo de operadores e balanceamento agregado de carga tornam-se fundamentais. Para auxiliar neste processo pode-se ainda contar com a simulação que poderá ajudar a quantificar o que e quanto é necessário para cada SPOP.

Os métodos de avaliação técnica e económica podem agrupar-se em métodos de único critério e múltiplos critérios de acordo com o número de objectivos que optimizam. Métodos de único critério são os métodos económicos tradicionais como, por exemplo, valor presente líquido (NPV)<sup>35</sup>, taxa interna de retorno (IRR)<sup>36</sup>, *payback* e retorno do investimento (ROI)<sup>37</sup> e requisito de retorno anual mínimo modificado (MARR)<sup>38</sup> que optimizam apenas um critério, Figura B- 9 (adaptado de Kolli et al., 1994). A utilização destes requerem a avaliação económica das alternativas que se baseiam na estimativa de alguns custos e benefícios (tácticos e estratégicos) trazidos pela implementação das configurações.

Os métodos de múltiplos critérios optimizam vários e conflituosos critérios, por exemplo, os métodos de análise de decisão de multiatributo descritos anteriormente apresentados em Canada e Sullivan (1989). Em cada um destes grupos pode ainda encontrar-se métodos determinísticos e não determinísticos como se pode ver na figura.

---

<sup>35</sup>Net Present Value

<sup>36</sup> Internal Rate of Return

<sup>37</sup> Return On Investment

<sup>38</sup> Modified Minimum Annual Revenue Requirement



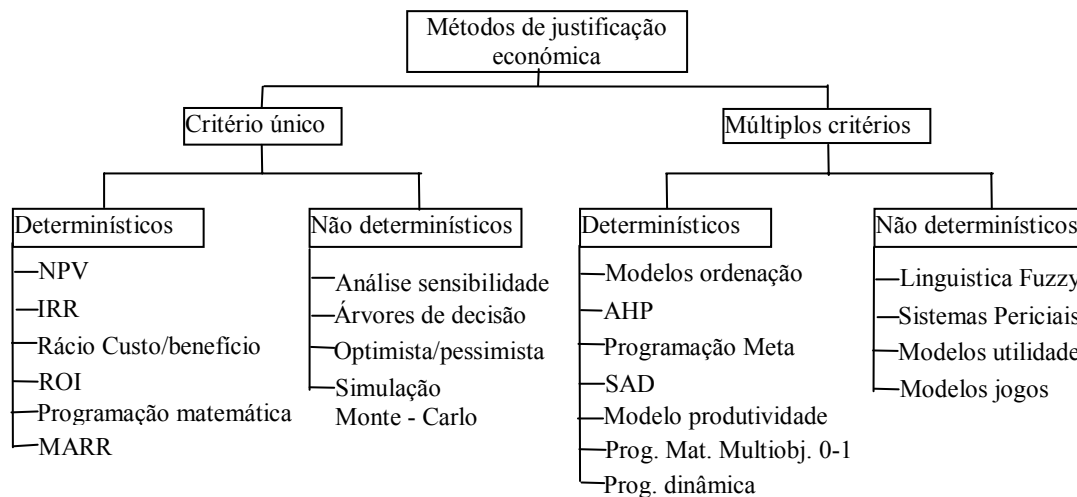


Figura B- 9. Proposta de agrupamento dos métodos de justificação económica

Olson (1996) descreve muitos destes métodos e apresenta ainda programas desenvolvidos que ajudam na aplicação deste tipo de métodos.

A aplicação dos métodos de justificação económica para a avaliação das alternativas têm bastantes limitações quando usados isoladamente mas a integração e combinação de vários métodos ultrapassam as limitações e podem fornecer boas soluções.

A simulação utiliza-se para obter o mesmo objectivo que tinha na actividade da identificação do tipo de sistema de produção, isto é, comparação e selecção de alternativas através do estudo do comportamento face a parâmetros estabelecidos na construção dos modelos. Neste estágio de análise a simulação tende a ser mais detalhada incorporando configurações e dados não necessários na fase do Projecto Genérico.

Estes modelos são complementares aos métodos de justificação económica para adequadamente avaliar as alternativas integrando factores económicos e não económicos no processo da tomada de decisão.

Por exemplo, no trabalho de Chan e Abhary (1996) são construídos 4 modelos de sistemas com diferentes quantidades de recursos e número de células: a instalação existente com 14 trabalhadores e 2 células; a introdução de um Sistema de Produção Flexível (SPF), utilizando a técnica *Production Flow Analysis* (PFA) para formação das células com 6 trabalhadores e 6 células; a introdução de um SPF, utilizando uma das técnicas de coeficientes de similaridade com 3 trabalhadores e 3 células e rearranjo das máquinas para reduzir o comprimento do transportador com 4 trabalhadores e 4 células.

Para avaliação são considerados factores financeiros como investimento e custo de operação e factores não financeiros como o tempo de produção, utilização das máquinas e dos trabalhadores, manutenção, fiabilidade, flexibilidade e a qualidade. Os modelos são depois avaliados através dos resultados obtidos pela simulação e da técnica de AHP. O sistema com o melhor desempenho foi depois seleccionado estabelecendo o número de células e o número de operadores.

Kamrani et al. (1995) utilizam a simulação como parte de uma abordagem para o projecto e análise de sistemas celulares. Esta abordagem é implementada em 4 fases. Na última fase utilizam um modelo de simulação para testar diferentes configurações de células obtidas numa fase anterior por modelos matemáticos e comparam as soluções.

Através do modelo de simulação avaliam ainda o efeito da introdução de características dos sistemas reais como avarias, manutenção e turnos.

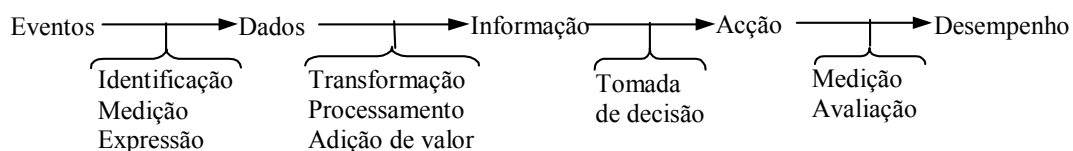
No trabalho de Sagi e Chen (1995), o objectivo da simulação é avaliar configurações alternativas de células com diferentes parâmetros tais como o número de operadores, número de máquinas, dimensão das filas de espera temporárias e sequências de operações.

A simulação, mais uma vez pode constituir uma ferramenta preciosa nesta actividade ajudando no processo de estabelecer alguns dos parâmetros necessários como o número de máquinas ou postos de trabalho, o número de operadores, o tamanho do lote entre outros. Uma forma de fazer isso é construir modelos diferentes que variam de acordo com os factores que se pretendem estudar. Estes são depois avaliados através dos resultados obtidos pela simulação.

Nos trabalhos de Chan e Abhary (1996), Kamrani et al. (1995), Sagi e Chen (1995), já referidos, além de avaliar e seleccionar uma configuração também especificam essa configuração em termos de operadores, máquinas, células, dimensão das filas de espera temporárias e sequências das operações. Nestes modelos pode avaliar-se ainda outros parâmetros, nomeadamente, o efeito da introdução de características dos sistemas reais como avarias, manutenção e turnos.

O sistema de bases de dados deve permitir á empresa recolher informações sobre os seus conteúdos. Informação e dados não significam o mesmo pois enquanto dados são factos não estruturados, informação tem um significado e é usada por um receptor num contexto particular. A informação advém da selecção de dados, sumariados e apresentados numa forma que tem valor para o receptor (Avison e Fitzgerald, 1995).

Hitomi (1979) define informação como um sistema de conhecimento que foi transformado a partir de dados em bruto, que são matéria prima para a informação e uma expressão de eventos, numa forma com sentido para o receptor e tem valor na tomada de decisão corrente ou prospectiva num período e lugar para tomar uma certa acção, resultando na avaliação do desempenho, Figura B- 10 (adaptada de Hitomi, 1979). Assim os dados são matéria prima que é processada para fornecer informação e a informação está relacionada com a tomada de decisão. Se não existir necessidade para tomar decisões então a informação não é necessária. A tomada de decisão apoiada por computador, num modo on-line e em tempo real em múltiplos pontos de decisão remotos dos vários subsistemas da empresa é possível pelo acesso aos terminais da base de dados através da ligação de um cabo de comunicação.



**Figura B- 10. Geração e utilização de informação**

Muitos são os sistemas que dependem de uma ou mais bases de dados como suporte do seu funcionamento e eficácia, sem as quais muitas vezes nem existiriam, nomeadamente, o sistema de informação que lida com o fluxo de informação, tendo como entradas os dados e a informação, fornece informação precisa e atempada para as tomadas de decisão.

De uma forma geral, sistemas cujo objectivo seja apoiar o processo de tomada de decisão (por exemplo, sistemas de suporte à decisão) têm como componente básico uma bases de dados e de conhecimento central donde se possam extrair as informações e o conhecimento (regras, procedimentos, métodos) necessários a essa tomada de decisão, como se pode ver no trabalho de Kalta et al. (1998).

A quantidade de dados e informação a ter em conta e as decisões a tomar para o projecto de SPOPs tornam indispensável a utilização de um qualquer sistema assistido por computador de apoio que deve ser estruturado em torno de uma base de dados e de uma base de conhecimento.

Dados relevantes ao projecto de SPOPs são os dados relacionados com a produção dos artigos. Estes dados podem ser classificados em dados permanentes, históricos e esporádicos. Os dados permanentes são o tipo de dados que podendo mudar, fazendo com tão pouca frequência que se torna relativamente simples manter actualizado o registo deste tipo de informação. Os dados históricos que resultam do registo dos acontecimentos, mudam com mais frequência que os anteriores logo é um pouco mais difícil manter actualizado o seu registo. Os dados esporádicos que resultam de acontecimentos ocasionais são pela sua natureza aleatória e continuamente em mudança difíceis de manter actualizados (Burbidge, 1996).

Parece lógico que a base de dados projectada para albergar estes três tipos de dados tenha duas componentes, a estática para incluir os dados permanentes e a dinâmica para incluir os dados históricos e esporádicos. Na componente estática tem-se assim os dados sobre os materiais, os produtos, os recursos e os processos e na componente dinâmica os dados sobre as ordens de fabrico, a produção por período, os inventários, as avarias das máquinas, o absentismo, as competências, entre outros.

A capacidade mede a aptidão de um sistema produtivo de produzir uma certa quantidade de produtos, ou seja, a aptidão para tratar uma certa quantidade de fluxo (produção e movimentação de determinado volume de encomendas). Planear a capacidade significa determinar os recursos necessários e suficientes para responder à procura prevista.

A capacidade, além de lidar com as quantidades, deve também lidar com a flexibilidade dos recursos, no sentido destes se ajustarem às necessidades da procura. A polivalência pode fornecer a flexibilidade requerida, pois quanto mais operações um operador puder fazer mais capaz fica a empresa de se adaptar a mudanças da procura, embora isto implique um investimento maior devido à formação a fornecer aos operadores e ao tempo gasto.

A carga significa a quantidade de trabalho afecta a cada recurso num dado período e pode ser comparada com a capacidade disponível desse recurso para identificar se há sobrecargas e tomar decisões relacionadas com estratégias para evitar esta situação. Tais estratégias podem ser o aprovisionamento, a subcontratação, as horas extraordinárias, aumento de turnos de trabalho e a combinação destas e de outras estratégias.

O planeamento de capacidade produtiva nesta actividade procura, assim, calcular as necessidades de capacidade de recursos (equipamento, operadores, materiais) para responder às quantidades das famílias ou grupos de produtos equacionadas no planeamento estratégico de produção. Este planeamento acompanhado com um balanceamento, ainda que agregado da carga (baseado nos planos das famílias de produtos) permite verificar os possíveis desequilíbrios entre a capacidade requerida e a

carga como a identificação de centros de trabalho com previsível excesso de carga (estrangulamentos) ou com previsível subutilização.

Perante a ocorrência destas situações a resolução pode estar em comprar equipamento adicional, aumentar os turnos, reduzir os tempos de preparação para contrariar o excesso de carga e distribuir a carga com centros de trabalho semelhantes, unir SPOPs, partilhar equipamento entre SPOPs, combinar operações para otimizar a utilização da capacidade dos centros.

A técnica OPT<sup>39</sup> pode ajudar a gerir os centros de trabalho estrangulamento, identificando-os, estimando a capacidade requerida em cada centro de trabalho e calculando a carga esperada. Procedimentos são depois aplicados para tentar reduzir a carga dos centros estrangulamento (Vollmann et al., 1997).

Uma lista de recursos<sup>40</sup> pode ser uma ferramenta útil para desenvolver os planos agregados que associa a cada unidade de produção de cada família ou grupo de produtos o número de horas de produção que serão requeridas em cada grupo de recursos (geralmente grupos de máquinas, trabalho ou capital) necessários para produzir esta unidade (Gibson et al., 1996).

### **B.3. Ferramentas para o Projecto Detalhado**

No Projecto Detalhado procede-se à instanciação das configurações conceptuais, face às necessidades de produção, definindo as células de produção a implantar, o seu arranjo físico e o seu modo de operação e gestão. Deste modo são necessárias ferramentas que ajudem na selecção/formação das famílias de artigos/máquinas e operadores, ferramentas para fazer uma avaliação técnica e económica dos equipamentos a instalar tendo em conta as suas especificações e os seus custos e das alternativas de configurações possíveis, ferramentas capazes de auxiliar o processo de estudo, distribuição e afectação do trabalho a cada posto ou operador como o Estudo de Métodos, o Planeamento de Processos, o Balanceamento de Sistemas de Produção, a simulação, e ainda ferramentas como os métodos de implantação para definir os fluxos de trabalho e os arranjos físicos dos vários equipamentos.

Uma ferramenta comum a todas as actividades do Projecto Detalhado é a utilização das abordagens para a formação das células pois, são muitas as aplicações que se estendem à resolução de mais do que uma actividade, i.e., à formação das famílias de produtos - A31, à instanciação das células conceptuais - A32, à instanciação de postos de trabalho - A33, à organização intracelular e controlo de cada célula - A34 e à integração e coordenação do SPOP global e controlo do fluxo intercelular - A35, uma vez, que todas as actividades são muito dependentes e realizam-se de forma iterativa e inter-relacionada (apêndice C).

#### **B.3.1. Ferramentas para a formação das famílias de peças, subconjuntos e produtos finais**

A selecção de artigos para os SPOPs é a primeira actividade do Projecto Detalhado. Esta pode ser uma selecção de artigos/família de artigos ou a formação das famílias de artigos a serem produzidos em SPOPs. Em qualquer dos casos são muitas as abordagens utilizadas sintetizadas no apêndice C.

---

<sup>39</sup> Optimized Production Technology

<sup>40</sup> Bill of resources

Abordagens e métodos que apenas resolvem o problema da selecção/formação dos artigos ou famílias de artigos são a inspecção visual (Offodile et al., 1994), a classificação ABC (Sekine, 1990, Aguiar, 1994 e Reis, 1994), o componente composto (Mitrofanov, 1959 e Gallagher, 1973), o agrupamento baseado em coeficientes de similaridade quando os coeficientes são calculados entre os planos de processo como em Shiko (1993) onde o objectivo é a formação das famílias de peças através dos seus planos de processo ou os coeficientes são calculados entre as peças como em Offodile e Grznar (1997) cujo objectivo é apresentar um meio para converter os códigos resultantes de um sistema de classificação e codificação numa medida de similaridade entre peças, através do *Single Linkage Clustering* e *Average Linkage Clustering* que conduzam à formação das famílias de peças.

### **B.3.2. Ferramentas para a instanciação das células conceptuais**

O equipamento principal e as pessoas têm de ser seleccionados para os SPOPs especificados. Isto é conseguido utilizando alguns métodos referidos no apêndice C, que recorrendo ou não à identificação dos artigos possibilitam a identificação das máquinas. Esta identificação não tem que ser procedente á identificação dos artigos, a sequência do procedimento depende do método que se está a usar. Além desta ferramenta deve nesta actividade ser realizada uma avaliação técnica e económica dos recursos a utilizar (equipamento principal e pessoas) requerendo para isso ferramentas adequadas.

Algumas das abordagens e métodos do apêndice C baseiam-se nas características das máquinas para dar início à formação das células, nomeadamente, o conceito de Máquina Chave. Outros métodos não se baseando exclusivamente nas características das máquinas podem também utilizar estas características e a relação entre as máquinas recolhidas nos planos de processo ou roteiros dos artigos para a selecção e agrupamento de equipamento como o agrupamento baseado em coeficientes de similaridade (McAuley, 1972, Ribeiro e Pradin, 1993, Chen e Guerrero, 1994, Kerr e Balakrishnan, 1996 e Seifoddini e Tjahjana, 1999), o agrupamento baseado na manipulação de matrizes (King, 1980, 1982 e 1986 e Chan e Milner, 1982, Chandrasekharam e Rajagopalan, 1986 e Kusiak, 1988, Logendram (1990), Del Valle et al., 1994), os modelos matemáticos (Co e Araar, 1988, Ribeiro e Pradin, 1993, Dahel e Smith, 1993, Lozano et al., 1999, e Wu e Salvendy 1999), a teoria dos grafos (Rajagopalan e Batra, 1975, Song e Hitomi, 1992 e Irani et al. 1993), as redes neuronais (Kaparathi e Suresh, 1994, Dagli e Huggahalli, 1993 e Chu, 1993) e os modelos fuzzy (Suresh e Kaparathi, 1994 e Kamal, 1995).

A avaliação das alternativas para o conteúdo das células normalmente enfatiza os aspectos financeiros, que pode incluir apenas o uso do equipamento existente, que requer um investimento de capital pequeno e encontra resultados rápidos; a compra de novo e sofisticado equipamento que requer mais formação, tempo de início e capital para se tornar produtivo ou a colocação de máquinas (existentes ou novas) de baixo custo, de função única dedicadas a uma operação que pode dar um retorno rápido do investimento. Esta decisão irá afectar outras decisões como o tipo de operadores, o controlo do material, flexibilidade de troca, balanceamento das operações, nível de suporte técnico, entre outras (Nyman, 1992).

A avaliação técnica e económica implica assim mais, uma vez, a análise de alternativas. Escolher entre uma máquina mais flexível em detrimento de uma mais especializada pode significar mais flexibilidade de produção de variados artigos mas um maior

investimento. Uma máquina especializada pode, no entanto trazer maior produtividade a um menor custo.

Escolher pessoas também não é uma decisão fácil porque um operador polivalente pode significar maior adaptabilidade a variadas operações mas a um maior investimento quer na formação quer depois no ordenado, não falando no tempo de formação, tempo esse que o operador não estará a trabalhar.

Perante estas decisões difíceis torna-se fundamental utilizar ferramentas adequadas, algumas já apresentadas no Projecto Conceptual e descritas em Canada e Sullivan (1989), Kollí et al. (1994) e Olson (1996). Os métodos económicos tradicionais na avaliação de alternativas como as descritas em cima podem ajudar e até ter um bom desempenho mas as alternativas de utilização de operadores polivalentes, aptos a reparar pequenas avarias das máquinas, alertados para os defeitos, motivados face a outro tipo de operadores não são muito fáceis de avaliar e assim outros métodos devem ser empregues. Isto significa que embora umas ferramentas sejam mais fáceis de aplicar nem sempre são mais adequadas e a escolha entre elas depende de muitos factores nomeadamente dos dados iniciais e das alternativas.

### **B.3.3. Ferramentas para instanciação de postos de trabalho**

Na instanciação dos postos de trabalho todos os postos de trabalho devem ser especificados, isto significa que a quantidade dos meios de produção principais de cada tipo é ajustada e a distribuição e afectação do trabalho com vista a um bom balanceamento da carga pelos postos deve ficar definida. Assim torna-se fundamental nesta actividade a utilização de métodos de avaliação técnica e económica, estudo de métodos, planeamento de processos, simulação e métodos para o balanceamento e distribuição dos operadores.

Alguns autores ao abordarem o problema de selecção/formação de famílias de peças e grupos de máquinas procuram incluir nos algoritmos alguma forma de avaliar também o problema do número de máquinas necessárias, nomeadamente, Choobineh (1988), Chow e Hawaleshka (1993) e Heragu e Gupta (1994).

Embora na actividade anterior se tenha obtido a quantidade de máquinas e operadores, no estabelecimento dos postos de trabalho esta quantidade é ajustada e a quantidade de postos de trabalho é determinada perante a necessidade ou não de colocar um operador – uma máquina ou um operador – várias máquinas, ou outras alternativas.

Os objectivos, tal como na actividade anterior podem ser muitos e conflituosos. Por exemplo, a minimização dos movimentos intercelulares acarreta, por vezes, alguma perda de flexibilidade. Para compensar esta perda, a aquisição de máquinas idênticas para colocar em células diferentes pode ser uma solução que acaba por influenciar negativamente a simplicidade do fluxo dentro da célula.

O estudo de métodos consiste em registar e examinar, de maneira crítica e sistemática, os métodos existentes e previstos de execução de um trabalho, a fim de aperfeiçoar e fazer aplicar os métodos de execução mais cómodos e mais eficazes e de diminuir os custos. Tem como objectivos melhorar os processos e métodos de execução, melhorar as implantações da fábrica, oficinas e postos de trabalho e a concepção das instalações e material, economizar o esforço humano e a fadiga inútil, melhorar a utilização do material, das máquinas e da mão de obra e criar condições de trabalho favoráveis (OIT, 1984).

De uma forma mais simples, pode-se dizer que é uma ferramenta útil na definição detalhada do método de execução das operações em cada posto e na análise do fluxo das operações que ajuda a descobrir onde se encontram desperdícios e inconsistências para depois procurar soluções para esses problemas.

Por detrás da necessidade de replicação das máquinas estão, muitas vezes, as operações excepcionais que obrigam à partilha das máquinas e conseqüentemente ao movimento intercelular. Mas as operações excepcionais podem ser eliminadas ou minimizadas sem recorrer à replicação das máquinas, apenas à alteração dos planos de processo.

Segundo Arvindh e Irani (1994) o problema da partilha das máquinas pode ser resolvido através do Planeamento de Processo Assistido por Computador e da Análise de Ferramentas (TA)<sup>41</sup>(Burbidge, 1996). Os autores apresentam o seguinte procedimento para eliminar o problema da partilha das máquinas:

1. Eliminar operações excepcionais que obrigam as peças a visitar máquinas externas à célula
  - reprojectando peças de forma a eliminar as características que requerem essas máquinas externas
  - modificando os planos de processo existentes de forma a reencaminhar as operações a uma ou mais máquinas alternativas disponíveis dentro da célula
2. Libertar capacidade nos tipos de máquinas partilhadas
  - reencaminhando algumas operações a máquinas alternativas dentro das células
  - comprando máquinas adicionais daquele tipo
  - comprando um centro CNC mais eficiente e dedicando as máquinas existentes apenas a peças chave (isto irá reduzir o tempo gasto nas mudanças de preparação)
  - reprojectando peças de forma a eliminar características que exijam estas máquinas
  - reduzindo tempos de mudança de ferramentas com transferência automática de ferramentas, ferramentas com vida mais longa, etc.
  - reduzindo o número de ferramentas através da aplicação de técnicas de redução da variedade de peças normalizando as dimensões das peças, a tolerância, etc.
  - otimizando parâmetros do processo para reduzir tempos de operação
  - desempenhando medições dimensionais em processo em vez de parar as máquinas ou repetidamente descarregar a peça para a inspeccionar
  - desenvolvendo dispositivos e mecanismos flexíveis de mudança rápida para manusear uma família de peças sem perder capacidade disponível devido às mudanças
  - afectando um único operador para operar duas ou mais máquinas adjacentes
3. Subcontratar peças pouco encomendadas para libertar capacidade nos tipos de máquina estrangulamento
4. Pôr as máquinas que constituem estrangulamentos a funcionar fora de horas normais de trabalho
5. Operar automaticamente, se possível, máquinas, em terceiro turno
6. Reduzir ou eliminar o manuseamento de material que causa tempo inactivo entre operações
  - adoptando uma implantação para as células que permita a um operador operar várias máquinas
  - usando um sistema automático de manuseamento de material
  - comprando um centro de torneamento ou de maquinagem de multi - função para substituir máquinas convencionais com funções dissimilares
7. Comprar centros CNC para reduzir tempos de operação em máquinas convencionais existentes
8. Reduzir exigências de capacidade planeando baixos níveis de rejeitados
  - inspeccionando a matéria-prima, em curso e produto acabado dentro da célula
  - implementando gráficos de controle de processo estatísticos em cada máquina

---

<sup>41</sup> Tooling Analysis

- treinando trabalhadores para serem multifuncionais no sentido de inspecionarem (ou monitorarem) cada produto
  - eliminando a fadiga dos operadores mecanizando ou mesmo automatizando as operações de carga (ou descarga), embalagem e manuseamento
9. Reduzir requisitos de capacidade usados no cálculo do número de máquinas pela redução dos tamanhos de lote e efectuando mais ciclos de produção
  10. Reduzir tempo de manutenção em tipos de máquinas partilhadas pela manutenção preventiva realizada pelos operadores na célula (lubrificação, limpeza, testes de diagnóstico para evitar falhas de máquina, fornecimento de energia/ar/refrigeração para evitar interrupções nas máquinas, etc.)
  11. Minimizar tempos de espera e preparação nas máquinas por uma programação baseada nas dependências das sequências e similaridade dos planos de processo
  12. Reduzir absentismo nas células

O número certo de operadores associado a um balanceamento adequado da célula é um dos objectivos pretendidos nesta actividade e pode ser conseguido através da simulação por computador. Em Nunes (1997) este assunto é estudado na montagem de contadores eléctricos, sendo definido para diferentes taxas de produção de uma linha de montagem o número de operadores a afectar assim como capacidade dos *buffers* entre postos de trabalho de forma a proporcionar uma eficiente gestão dos recursos. O estudo baseia-se num modelo de simulação do processo de fabrico.

Black e Schroer (1988 e 1994) também desenvolveram um modelo de simulação para tentar encontrar o número mais adequado de operadores dentro de uma célula na indústria do vestuário e o trabalho de Sagi e Chen (1995) já referido também é relevante uma vez que trata o problema do número de operadores e números de máquinas, entre outros parâmetros.

O balanceamento das células/linhas é um processo através do qual se procura distribuir e afectar a carga de trabalho pelos postos de forma a otimizar uma dada medida (por exemplo: minimizar o atraso ou minimizar o número de postos de trabalho) e é realizado recorrendo quer à simulação quer a métodos de balanceamento (Ghosh e Gagnon, 1989; Hoffmann, 1990; Scholl, 1995). Tais métodos podem ainda usar técnicas como heurísticas (Bukchin et al., 2002) ou técnicas mais recentes nestas áreas como os algoritmos genéticos (Chan et al., 1998 ou Sabuncuoglu et al., 2000) ou o *simulated annealing* (Vilarinho e Simaria, 2002) ou à combinação das duas ferramentas como em Praça e Ramos (1999) onde é proposta uma arquitectura baseada na simulação de multi-agente para ajudar no balanceamento e distribuição de pessoas em linhas de montagem manuais.

As células em U com aspectos tão característicos são também já objecto de estudo mais aprofundado no que toca ao balanceamento abordadas especificamente por alguns autores, nomeadamente, Scholl e Klein (1999).

Os métodos podem classificar-se em métodos de balanceamento de artigo único e vários artigos. Nas linhas para vários artigos ainda se pode classificar em linhas de multi-artigo ou artigos misturados, se só um tipo de artigo ou vários tipos de artigos vão ser produzidos na linha, respectivamente (Wild, 1972). Estes métodos podem ainda ser classificados em determinísticos, se não entram com a variabilidade das durações das operações ou estocásticos, caso contrário (Ghosh e Gagnon, 1989).

Embora, na maioria das vezes, as células/linhas se baseiem, depois de seleccionados os artigos, nos agrupamentos das máquinas existem, por vezes, situações em que o



agrupamento de pessoal é mais relevante na formação das células do que o agrupamento das máquinas. Slomp et al. (1993) refere experiências industriais em que células foram formadas com base na distribuição de pessoal sob responsabilidade de chefes de secção. Particularmente importantes são também os agrupamentos de operadores nalguns tipos de SPOP cuja flexibilização e reconfigurabilidade advém da alteração do número de operadores nas células para responder a diferentes taxas de produção que variam de acordo com a procura (Monden, 1983).

Na afectação dos operadores às tarefas é importante considerar as competências assim como a aprendizagem de cada operador além do absentismo, motivação e estado físico e psicológico, ficando a dever-se a estes factores a variabilidade do comportamento humano que afecta os tempos de processamento e, conseqüentemente, a evolução das durações das operações.

Min e Shin (1993), Slomp et al. (1993), Black e Chen (1995), Molleman e Slomp (1999), Askin e Huang (2001) e Norman et al. (2002), Baudin et al. (2003), desenvolveram abordagens para a formação das células atendendo á preocupação que sentem relativamente á necessidade de haver um compromisso entre os benefícios económicos e comportamentais (comunicação, trabalho em equipas, aproveitamento de competências, insegurança, moral, aborrecimento, entre outros) levando a cabo esta formação através de um agrupamento simultâneo de máquinas e pessoas e afectação destes ás células fazendo corresponder a cada máquina um operador cujas competências o permitam. Assim problemas como complexidades de tarefas, aumento de salários e conflitos com os sindicatos que advém da necessidade de ter operadores polivalentes devem ser considerados nas abordagens para formação das células.

Hornig et al. (2001) desenvolveram uma metodologia de suporte à decisão para ajudar na afectação de operadores polivalentes em sistemas JIT. Esta ferramentas segundo os seus autores ajuda a determinar o número apropriado de operadores polivalentes e a correspondente regra dinâmica de despacho.

Na afectação dos operadores às células deve-se também ter em conta a sua influência (principalmente no que diz respeito aos tais factores comportamentais referidos em cima) no funcionamento, e nos custos da célula. Em particular é importante avaliar o impacto dos custos que resultam da inactividade.

#### **B.3.4. Ferramentas para organização, integração e coordenação do SPOP global e controlo do fluxo intracelular e intercelular**

Na organização e implantação intracelular e intercelular procura-se definir a implantação física de cada célula, o arranjo do SPOP global, o fluxo de trabalho intracelular e intercelular e escolher o equipamento e software para manipulação, transporte e armazenagem dos artigos. Para tal são necessárias ferramentas que concretizem estes objectivos como os métodos de implantações para ajudar na definição das implantações, os métodos de avaliação técnica e económica para na escolha das alternativas de arranjos e equipamentos e formas de organização e distribuição dos operadores. O controlo dentro da célula e a coordenação entre células é outra tarefa a ser realizada que requer métodos de lançamento, sequenciamento e dimensionamento do lote. Podem e devem ainda ser utilizados diagramas que ajudem a clarificar os fluxos de trabalho e informação e as áreas de trabalho, movimentação e armazenagem de materiais.

Tal como nas actividades anteriores também nesta actividade são apresentados algumas referências de trabalhos, nomeadamente, de Co e Araar (1988), Vakharia e Wemmerlöv (1990), Logendran (1990), Song e Hitomi (1992), Ribeiro e Pradin (1993), Chow e Hawaleshka (1993), Dahel e Smith (1993), Del Valle et al. (1994), Heragu e Gupta (1994), Joines (1998) e Cheng et al. (1998), Urban et al. (2000) que tendo o objectivo de formação de famílias de peças e grupos de máquinas fazem-no atendendo à minimização dos movimentos intra e/ou intercelulares. Outros trabalhos abordam o problema da formação das células como um problema global tratando todas as actividades. Tais trabalhos são, por exemplo, o de Arvindh e Irani (1994), de Ho e Moodie (1994), de Langevin et al. (1994), Sagi e Chen (1995), Kaebnick e Bazargan-Lari (1996), Elwany et al. (1997), Kalta et al. (1998), Joines (1998) e Cheng et al. (1998).

Burbidge (1996) também aborda o problema da implantação através da subtécnica *Line Analysis* (LA) que procura o fluxo de materiais entre os centros de trabalho. Nesta linha de acção enquadram-se três heurísticas que procuram solucionar o problema em questão através do mesmo princípio, são eles Hollier (1963), Aneke e Carrie (1986) e Ho et al. (1993).

Os métodos de implantações variam relativamente à área do recurso a implantar pois se as áreas destes são iguais o problema é mais simples.

A abordagem de Muther (1973), o Planeamento Sistemático de Implantações (SLP)<sup>42</sup> utiliza a análise do fluxo (medida quantitativa de movimento) e o relacionamento entre actividades (factores não quantitativos) para determinar as necessidades de espaço para um arranjo. Esta abordagem pode ser combinada com algoritmos de programação matemática porque o problema de implantações tem sido muitas vezes modelado como um problema de afectação quadrática e programação inteira linear (Singh, 1996).

Um método de ajuda à implantação que permite realizar fluxos procedentes é o método das gamas ou sequências fictícias. Segundo Valle (1975) o método consiste em determinar uma sequência geral fictícia que, sem retornos de fluxo de material, permita a produção de vários artigos. A gama fictícia serve de base à implantação e cálculo do número de máquinas. Este cálculo toma em linha de conta a carga associada aos artigos a produzir na célula.

Os conceitos subjacentes aos programas computadorizados tais como CORELAP, CRAFT, ALDEP, COFAD e PLANET (Tompkins, 1978), SHAPE (Hassan et al., 1986) FAST (Tretheway e Foote, 1994) também podem ser usados, desde que adaptados à realidade actual e às secções a implantar que são as células. Alguns autores aplicam variantes de alguns destes métodos para colocar as máquinas na célula e/ou para dispor as células como Flynn e Jacobs (1986) e Logendran e Talkington (1997).

Shahookar e Mazumder (1991) fazem uma revisão extensa de algoritmos (baseados em *simulated annealing*, *tabu search*,...) aplicáveis à colocação de circuitos integrados que envolve também um processo de implantação que poderiam ser usados para colocação das células no espaço fabril. Modelos matemáticos, programação lógica de restrições (CLP)<sup>43</sup>, algoritmos genéticos e metaheurísticas como as já referidas também são usados para modelar os problemas de implantação como em Barbosa-Póvoa et al. (2001), Tavares et al. (1999), Tam e Chan (1998) e Alvarenga et al. (2000).

---

<sup>42</sup> Systematic Layout Planning

<sup>43</sup> Constraint Logic Programming

Os algoritmos e heurísticas tornam-se úteis quando facilmente aplicáveis a um problema real pelo que integrados em sistemas periciais e sistemas de apoio à decisão implementados numa aplicação informática ou fazendo parte de uma aplicação com outros fins ajudam a tomada de decisão por uma alternativa adequada. Os trabalhos de Abdou e Dutta (1990), Foulds (1997), Vilarinho (1997), Smith e Heim (1999), Azadivar e Wang (2000), Chiang (2001) e Yoshimura et al. (2006) têm essa preocupação.

Abordagens de modelação que integram e sistematizam os problemas de escolha do sistema de manuseamento do material, implantação e armazenagem também são comuns e facilitam o projecto de implantações (Dowlatshahi, 1994, Orady et al., 1999, Chittratanawat e Noble, 1999).

Alguns autores consideram no problema de definição das implantações, o ambiente dinâmico de produção associado a uma mudança da quantidade e variedade dos produtos, nomeadamente, Rosenblatt (1986), Montreuil e Venkatadri (1991), Kochhar e Heragu (1998, 1999), Lahmar e Benjaafar (2002).

Quando as células a implantar partilham máquinas entre si é importante que as células fiquem próximas para evitar que as peças percorram longas distâncias. Benjaafar (1995) estudou as condições em que a partilha das máquinas pode ser vantajosa e Wang e Sarker (2002) abordaram e propuseram uma solução para este problema.

Os algoritmos e trabalhos apresentados até agora apenas se ocupam com o problema de localizar e implantar as células dentro da empresa mas para organizar o SPOP pode ter de recorrer-se a recursos (células, máquinas, ...) que ficam ou que poderão ficar localizados fora da empresa, ou fora do país ou até mesmo fora do continente. Este problema pode ser visto como um problema de localização internacional de instalações (IFL)<sup>44</sup> que é uma extensão do problema de localização de instalações com a diferença de que as instalações (neste caso os recursos do SPOP) poderão estar distribuídas por vários países e continentes e variáveis como taxas de inflação, tarifas, incentivos governamentais, políticas de cada país, entre outras devem ser consideradas. Algoritmos desenvolvidos em trabalhos como em Canel e Khumawala (1997, 2001) podem ser úteis.

A utilização de métodos de avaliação técnica e económica nesta actividade ajudam na avaliação e posterior escolha de sistemas, equipamento e software para a manipulação, transporte e armazenagem mais adequados e ajudam a decidir sobre a efectiva vantagem de partilha de recursos.

A avaliação do desempenho de configurações alternativas e a determinação óptima da configuração dos *buffers* em linhas de produção pode ser encontradas recorrendo a algoritmos e heurísticas. Jeong e Kim (2000) apresentam algumas heurísticas para determinar a capacidade dos buffers e Tempelmeier (2003) apresenta um software que tenta ir de encontro a estas necessidades.

Factores a considerar numa avaliação incluem a fluidez do material, a flexibilidade do arranjo, a eficiência do sistema de manuseamento, a utilização do espaço, a integração com os sistemas de suporte, a supervisão e o controlo, as condições de trabalho, a facilidade e o custo de implementação, entre outros. Dentro destes factores existem aqueles que são fáceis de quantificar e aqueles que não são e que por isso exigem uma avaliação mais técnica do que económica.

---

<sup>44</sup> International facilities location

Referências como Canada e Sullivan (1989) e Kolli (1994) podem esclarecer sobre os métodos mais convenientes e ajudar na decisão de escolher o método ou métodos para esta avaliação.

Nesta actividade há necessidade de utilizar diagramas para representar o fluxo de materiais, o relacionamento entre as actividades e o espaço existente. Exemplos de tais diagramas são: o diagrama de circulação, o diagrama colorido, o diagrama de fluxo de processo e de fluxo de operações, os quadros de relacionamento e fluxo e o diagrama de relacionamento e de relacionamento de espaço. A maioria destes diagramas são utilizados em Muther (1973) e Phillips (1997).

Outro problema a resolver é o planeamento e controlo da produção. Os sistemas de planeamento e controlo da produção (PCP) devem determinar o que produzir (ordens), quando produzir (tempo) e onde produzir (recursos) e a direcção e conteúdo da relações entre estas funções (Riezebos et al., 1998). O controlo é a função de sequenciar e monitorizar os trabalhos a serem executados para cumprir os prazos de entrega.

O planeamento pode ser visto como uma programação de longo prazo. Numa visão hierárquica do problema de programação, a sequenciação ocupa o nível mais baixo designando-se, muitas vezes, de programação de curto prazo pois é realizada diariamente. Gupta (2002) fez uma revisão do problema de programação abordando desde a programação de longo prazo ao curto prazo, apresentando os paradigmas associados.

A sequenciação dos artigos nas células é encontrar a sequência pela qual os artigos devem ser processados em cada máquina. O problema da sequenciação de artigos é muito estudado na bibliografia existindo muitos métodos para o resolver, nomeadamente, os métodos de Sridhar e Rajandran (1993), Rajendran e Ziegler (1999) e Ravichandra e Suer (2003), recorrendo a diversas abordagens. Roy et al. (2001) propuseram um sistema baseado em agentes para sequenciar e monitorizar os trabalhos.

A sequenciação dentro da célula pode ser vista a dois níveis: a sequenciação das subfamílias em cada célula e a sequenciação dos diferentes tipos de peças de cada família em cada célula (Logendran, 1998). Se existirem tempos de preparação das máquinas devido à mudança de peça pode-se determinar a sequenciação das peças, aplicando método de afectação ou método do caixeiro viajante ou outros métodos como em Reddy e Narendran (2003).

O problema da sequenciação pode complicar-se quando existe movimento intercelular pois torna-se necessário sequenciar os artigos minimizando as esperas e perturbações nas células envolvidas. Isto pode impossibilitar a adopção de métodos já estudados e requerer soluções específicas como as apresentadas em Yang e Liao (1996) e Solimanpur et al. (2004).

A sequenciação está, muitas vezes, relacionada com a necessidade de loteamento dos artigos. Potts e Kovalyov (2000) fizeram uma revisão de programação com loteamento apresentando diversos algoritmos que combinam sequenciação com loteamento. O trabalho de Lockwood et al. (2000) trata este problema específico dentro da célula.

Existem muitos sistemas de planeamento e controlo da produção uns mais adequados que outros no âmbito das células, sendo, por isso, mais útil na metodologia GCD ter uma ferramenta para seleccionar um sistema de planeamento e controlo da produção adequado à situação produtiva ou projectar o sistema de planeamento e controlo adequado ao sistema de produção projectado. Uma metodologia para projectar sistemas

de planeamento e controlo que considera o sistema de produção implementado é a metodologia de Banerjee (1997).

A adopção de um dos sistemas de planeamento e controlo conhecidos pode não ser a melhor solução para as pequenas empresas podendo estas beneficiar de soluções mais orientadas e específicas como Halsall e Price (1999) demonstraram no trabalho que desenvolveram.

Cada sistema de planeamento e controlo faz o dimensionamento do lote de acordo com a estratégia implícita. No âmbito do MRP, por exemplo, a dimensão do período de tempo e o dimensionamento do lote estão muito relacionados e são parâmetros de projecto importantes neste (Riezebos, 2004). Já no âmbito do JIT parâmetros de projecto importantes para o sistema baseado em kanbans (Monden, 1981) são o número de *kanbans* necessários para ligar os processos e a unidade apropriada do tamanho do lote (Shahabudeen et al., 2002).

Chen (2004) e Chen e Cao (2001) propõem um modelo para tomar decisões como os tempos para início de processamento de peças e níveis de stock de produtos acabados relacionadas com o planeamento da produção no ambiente celular.

## **APÊNDICE C - Abordagens/métodos para a formação de células de produção**



## C. ABORDAGENS/MÉTODOS PARA A FORMAÇÃO DE CÉLULAS DE PRODUÇÃO

Esta ferramenta inclui diversas abordagens/métodos tradicionalmente utilizadas para a formação das células. Formação de células subentende-se aqui, não apenas a formação de famílias de produtos mas toda a problemática envolvente apresentada nas 5 actividades do Projecto Detalhado.

A classificação destas abordagens/métodos por vários autores pode ser realizada de diferentes formas atendendo a diferentes critérios, nomeadamente em relação à abordagem que está subjacente ao método, aos dados de entrada que requerem ou ao tipo de computação requerido.

Por exemplo, Selim et al. (1998) classifica os métodos baseando-se nas abordagens que estão na origem dos métodos agrupando-os em 5 categorias:

1. Procedimentos descritivos: *Production Flow Analysis*, classificação e codificação e outras
2. *Cluster analysis*: agrupamento baseado em matrizes, agrupamento hierárquicos e não hierárquicos
3. Partição de grafos
4. Inteligência artificial
5. Programação matemática

Semelhante a esta classificação mas agrupando uns e separando outros e nalguns casos usando outra nomenclatura é a de Shafer (1998). Assim, este autor agrupa-os em seis abordagens:

1. Manual: *Production Flow Analysis* e outras
2. Classificação e codificação
3. Agrupamento baseado em coeficientes de similaridade
4. Agrupamento baseado em manipulação de matrizes,
5. Matemática: programação matemática, teoria dos grafos, análise combinatorial e heurísticas
6. Inteligência artificial: reconhecimento de padrões, redes neuronais, lógica *fuzzy* e algoritmos genéticos

Neste trabalho classificam-se os métodos desta forma incluindo mais métodos dentro de cada abordagem e integrando outras abordagens tornando-a mais exaustiva. Na abordagem manual descrevem-se a inspecção visual, o conceito de Máquina Chave, o conceito de Componente Composto, a *Production Flow Analysis*, a *Production Flow Synthesis* e a classificação ABC. Aparece depois a classificação e codificação e a *clustering analysis*: baseado em coeficientes de similaridade e baseado em manipulação de matrizes. A programação matemática, a teoria dos grafos e as heurísticas são exemplos da abordagem matemática. Os métodos de reconhecimento de padrões, sistemas periciais, sistemas de apoio à decisão, redes neuronais, algoritmos genéticos, *simulated annealing*, modelos *fuzzy* e *tabu search* são exemplos de métodos que tiveram origem na inteligência artificial e recorrem à pesquisa local. Além das abordagens referidas é também apresentada a simulação que não se enquadra em nenhuma delas.

Bhatt e Zaveri (2002) consideram que redes neuronais, *simulated annealing*, algoritmos genéticos e *tabu search* são exemplos de técnicas de aprendizagem indutiva não



supervisionada que significa que podem tornar-se eficientes em novas situações quando não existe nenhum ou pouco conhecimento disponível sobre o problema a tratar mas espera-se que venha a crescer daí a sua ligação à inteligência artificial, tal como os outros incluídos nesta abordagem que recorrem, de uma ou de outra forma ao paradigma da aprendizagem.

As redes neuronais, os algoritmos genéticos, a *simulated annealing*, os modelos *fuzzy* e o *tabu search* surgem, muitas vezes, como procedimentos heurísticos baseados nos modelos matemáticos para resolverem o problema das células (Chu, 1995).

Algumas abordagens divergem nos aspectos em que se baseiam para seleccionarem/formarem os artigos ou famílias de artigos e grupos de máquinas, requerendo, por isso, diferentes dados de entrada para serem aplicadas. A consideração dos dados adequados são relevantes a esta fase do projecto. Tais dados consistem essencialmente em dados resultantes dos atributos geométricos e/ou características dos artigos e dos atributos de fabrico. Uma grande parte das abordagens usa apenas um número reduzido de atributos de fabrico por duas razões. Primeiro porque informação precisa sobre estes atributos pode não estar disponível e segundo porque considerar um número adequado de atributos pode causar complexidade computacional (Choobineh, 1999).

Assim há aquelas que se baseiam nos atributos geométricos dos artigos como a inspecção visual, o conceito do Componente Composto e a classificação e codificação, ou nas características das máquinas como o conceito de Máquina Chave. Alguns sistemas de classificação e codificação, nomeadamente, o sistema Optiz incluem no código alguns atributos de fabrico (Optiz, 1970).

Aquelas que se baseiam na similaridade dos requisitos de processamento como a técnica *Production Flow Analysis*, utilizam normalmente os planos de fabrico ou de processo para registar a relação entre artigos e máquinas que os processam. Esta relação é, muitas vezes, transferida para uma matriz chamada matriz peças/máquinas que é fundamental para a técnica de manipulação de matrizes e para o agrupamento de coeficientes de similaridade, podendo este ainda requerer outros dados como quantidades e tempos de processamento.

Outras abordagens podem utilizar as características dos artigos, a informação dos planos de fabrico ou a matriz peças/máquinas ou ainda outras informações como as quantidades requeridas dos artigos, o fluxo de material, o tamanho do lote e os custos, tais como as abordagem matemática, a simulação, a classificação ABC e os métodos que derivam da inteligência artificial.

A classificação baseada nos dados de entrada pode facilitar a escolha do método a utilizar. Particularmente num processo de engenharia do sistema de produção em que ainda não existem planos de processo, a utilização de uma técnica baseada nestes é impensável sendo mais aconselhável a utilização de abordagens que usam as características dos artigos.

Relativamente ao tipo de computação, Venugopal (1999) classifica-os em abordagens baseadas em *hard-computing* e *soft-computing*. A diferença entre estas duas abordagens está no tipo de computação requerido, i.e., na abordagem *hard* a aspiração é a precisão, a certeza e o rigor contrastando com a abordagem *soft* que considera que a precisão e a certeza nem sempre são possíveis acarretando um custo e a computação, a razão e a tomada de decisão deve sempre que possível explorar a tolerância para a imprecisão e a

incerteza. A abordagem *soft* emula a capacidade do cérebro humano de empregar modos de raciocinar mais aproximados do que exactos. Abordagens *hard* são os agrupamentos baseados em coeficientes de similaridade, teoria de grafos, a manipulação de matrizes e a programação matemática (inclui nesta *tabu search* e *simulated annealing*) e abordagens *soft* são os algoritmos genéticos, as redes neuronais e os modelos *fuzzy*.

Em cada secção são apresentadas tabelas onde se referenciam alguns autores que discutem, aplicam e/ou desenvolvem um ou mais métodos mostrando os dados de entrada necessários a cada abordagem, os objectivos operacionais em causa e as actividades que cada autor pretende resolver (rectângulo cinzento) utilizando um ou mais métodos e abordagens. A letra R no rectângulo significa que o autor é uma referência para a abordagem/método em causa. Com essa abordagem/método resolve-se a actividade onde se encontra a letra.

Mais bibliografia e revisões destas abordagens e métodos podem ser encontradas, além das enunciadas anteriormente, em Kusiak e Chow (1988), Shafer e Meredith (1990), Wang e Takefuji (1993), Offodile et al. (1994), Heragu (1994), Moussa e Kamel (1995), Chu (1995), Moodie et al. (1995), Kamrani et al. (1995), Hassan, (1995), Singh e Rajamani (1996), Suresh e Kay (1998), Venugopal (1998), Kamrani e Logendran (1998) e Irani (1999). Análises comparativas entre diferentes abordagens podem ser encontradas em Cheng (1996), Sarker e Xu (1998) e Selim et al. (1998).

### C.1. Abordagem manual

A Tabela C- 1 apresenta algumas das técnicas e metodologias que se inserem na abordagem manual que requer que o analista faça uma série de avaliações e julgamentos e porque dependem deste são difíceis de implementar em computador.

Tabela C- 1. Abordagem manual

	Dados de entrada	Referências e trabalhos	A31	A32	A33	A34	A35
Inspecção visual	Geometria dos artigos	Offodile et al. (1994)	R				
Máquina chave	Características das máquinas	Gallagher (1973)		R			
		Burbidge (1992, 1996)					
		Wemmerlov e Hyer (1989)		R			
		Efstathiou e Golby (2001)					
Componente composto	Características das máquinas, dos artigos, projecto e processamento e ferramentas	Mitrofanov (1959)					
		Gallagher (1973)	R				
		Singh (1996)	R				
Production Flow Analysis	Planos de processo	Burbidge (1963, 1992, 1996)					
		Slomp (1998)					
		Karvonen et al. (1998)					
Production Flow Synthesis	Estrutura do produto, sequências das operações, tipos e quantidade de máquinas	De Beer, Eindhoven e Witte (1978)					
Classificação ABC	Artigos e quantidade de produção	Sekine (1990)					

## C.2. Classificação e codificação

A aplicação da classificação e codificação faz-se através dos sistemas de classificação e codificação (CC). Os sistemas CC são sistemas que organizam entidades similares em grupos (classificação) atribuindo depois um código a estas entidades (codificação). Estes sistemas permitem a formação de famílias de artigos na medida em que fornecem uma estrutura para a classificação dos artigos em grupos baseados nos atributos de projecto e de fabrico dos artigos e facilitam a recuperação de informação relativa à família através do código atribuído (Tatikonda e Wemmerlov, 1992). Peças com códigos similares são identificados e agrupadas em famílias, Tabela C- 2.

O sistema CC baseia-se, principalmente, em três categorias: nos atributos de projecto, nos atributos de produção das peças ou em ambos os atributos. Os atributos de projecto são as características ou atributos dos artigos como, por exemplo, forma, função, dimensão, tipo de material, tolerância e acabamento. Os atributos de produção são por exemplo, o processo principal, a sequência de operações, o tempo de produção, o tamanho do lote, as máquinas, as ferramentas e a produção anual (Groover, 1980). O esquema de codificação das peças consiste numa sequência de dígitos que identificam os atributos de projecto e de produção do artigo.

Os sistemas CC exploram o relacionamento entre as peças e os seus atributos. Assim os atributos das peças podem ser um meio para ligar as peças às máquinas (Moon, 1998).

**Tabela C- 2. Abordagem da classificação e codificação**

	Dados de entrada	Referências e trabalhos	A31	A32	A33	A34	A35
<b>Classificação e codificação</b>	Características dos artigos, atributos de fabrico, matrizes de possibilidades de processamento	Groover (1980)	R				
		Rembold (1985)	R				
		Houtzeel (1987)	R				
		Tatikonda e Wemmerlov (1992)	R				
		Moon (1998)					

## C.3. Algoritmos de agrupamento baseados em coeficientes de similaridade

Na Tabela C- 3 apresentam-se os algoritmos de agrupamento baseados em coeficientes de similaridade. Os algoritmos de agrupamento são programas estruturados passo-a-passo que tratam e reduzem grandes conjuntos de dados. Estes algoritmos ajudam a identificar importantes propriedades estruturais e padrões existentes num conjunto de dados. Um conjunto de dados é o início da análise de agrupamentos - a descrição e reconhecimento de um conjunto de variáveis – que contribui directamente para desenvolver esquemas de classificação. Este tipo de algoritmos pretendem, de certa forma, encontrar partições de um grande conjunto de dados que se associem de uma maneira eficaz e eficiente, revelando assim estruturas e relações num “amontoado” de dados (Jambu, 1983).

No agrupamento baseado em coeficientes de similaridade tipicamente é usada uma medida de associação (ou proximidade) que quantifica a similaridade ou distância (dissimilaridade) entre duas peças ou duas máquinas chamado de coeficiente de similaridade ou distância. São calculadas para cada par de peças ou máquinas e armazenados numa matriz de proximidade que é usada como entrada nos algoritmos de agrupamento. Cada peça ou máquina é inicialmente colocada no seu próprio grupo

separado. Estes grupos são sucessivamente combinados baseados no algoritmo de agrupamento até que todas as peças ou máquinas são agrupadas num único grupo. Se são coeficientes de similaridade os grupos separados são combinados começando com aqueles que são mais similares (maior valor) se são coeficientes de dissimilaridade os grupos separados são combinados começando com aqueles que são mais distantes (menor valor). Assim faz-se a identificação das famílias de peças ou a identificação dos grupos de máquinas.

**Tabela C- 3. Métodos de agrupamento baseados em coeficientes de similaridade**

Métodos	Dados de entrada	Referências e trabalhos	A31	A32	A33	A34	A35
Single Linkage Clustering (SLC) Average Linkage Clustering (ALC) Complete Linkage Clustering (CLC) Linear Cell Clustering (LCC) Zero-one data: ideal seed algorithm for clustering (ZODIAC) Non-hierarchical clustering algorithm (ACCORD)...	Matriz peças/máquinas, quantidades e tempos de fabrico, tamanho de lote, sequências, planos de processo e alternativos, equipamento disponível de cada tipo, custo de aquisição de equipamento, sistema de classificação e codificação, tempos de preparação.	McAuley (1972)		SLC			
		Chandrasekharan e Rajagopalan (1987)		ZODIAC			
		Askin e Subramanian (1987)		Baseado ROC+ H			
		Choobineh (1988)		SLC mod. + PIL			
		Wei e Kern (1989)		LCC			
		Vakharia e Wemmerlov (1990)		ABCS + H			
		Shiko (1992)					
		Ben-Arieh e Triantaphyllou (1992)					
		Ribeiro e Pradin (1993)		ABCS+ PM			
		Chow e Hawaleshka (1993)		Baseado LCC			
		Chen e Guerrero (1994)		ABCS + TG			
		Kerr e Balakrishnan (1996)		Baseado SLC			
		Offodile e Grzner (1997)					
		Beaulieu et al. (1997)		ABCS + H			
		Moussa e Kamel (1998)					
		Seifoddini e Tjahjana (1999)		SL mod./ALC			
		Nair e Narendran (1999)		ACCORD			
		Ben-Arieh e Sreenivasan (1999)					
		Dimopoulos e Mort (2001)		SLC + AG			
		Samatova et al.(2001)					
Yasuda e Yin (2001)							
Yin e Yasuda (2002)		ABCS + H					
Ohta e Nakamura (2002)							
Garbie et al. (2005)							

Sarker e Islam (1999) apresentam um artigo extenso sobre o desempenho dos coeficientes de similaridade ou dissimilaridade assim como as suas características importantes, adequação e aplicações.

A análise de agrupamentos baseada em coeficientes de similaridade (ABCS) pode ser classificada em hierárquica e não hierárquica (Anderberg, 1973). Os algoritmos de agrupamento hierárquico começam com a construção de matriz de similaridade que descreve o relacionamento (similaridade ou distância – dissimilaridade) entre pares num dado conjunto. Uma sequência de classificações, na qual grandes grupos são obtidos a partir da junção de pequenos grupos, é formada. Para um conjunto de  $m$  entidades, um algoritmo hierárquico dá  $m$  classificações aninhadas que variam desde  $m$  grupos de um único membro até um grupo de  $m$  membros (Nair, 1999).

Os algoritmos não hierárquicos também começam com a construção da matriz de similaridade mas requerem a identificação de “sementes” nas quais está o núcleo à volta do qual os agrupamentos são formados. Estes assentam em duas premissas: um mecanismo para medir a proximidade entre dois objectos (por exemplo: máquinas) e a

identificação das “sementes” para agrupamento (Anderberg, 1973). O número de agrupamentos não são conhecidos *a priori* mas emergem como resultado do exercício de agrupamento (Chandrasekharan, 1987).

Os primeiros trabalhos do agrupamento baseado em coeficientes de similaridade, que passam pela aplicação de algoritmos de agrupamento à selecção de máquinas para formar grupos, devem-se a McAuley em 1972. Este autor aplicou inicialmente o algoritmo *Single Linkage Clustering* (SLC) para encontrar grupos de máquinas podendo também ser aplicados para encontrar as famílias de artigos (Singh, 1996). Outros métodos foram então desenvolvidos nomeadamente, *Average Linkage Clustering* (ALC), *Complete Linkage Clustering* (CLC) e *Linear Cell Clustering* (LCC) que são exemplos de algoritmos hierárquicos.

Os algoritmos referidos requerem a matriz peças/máquinas podendo, no entanto, ter flexibilidade para considerar outros dados como quantidades, sequências, tempos de processamento e de preparação entre outros dependendo isto do procedimento do algoritmo escolhido. quando estes algoritmos são usados, algumas máquinas podem ficar inicialmente afectadas a células impróprias. Estas máquinas devem ser reexaminadas e afectadas a outras células de forma a reduzirem o número de movimentos intercelulares, este é o problema de afectação imprópria de máquinas (Seifoddini, 1989).

Outras escolhas a fazer relacionam-se com a selecção do critério de agrupamento, a selecção da medida de desempenho e a determinação do número de famílias de peças (Singh, 1996). O trabalho de Mosier (1989) pode ajudar nestas escolhas já que ele estudou e comparou a aplicabilidade de alguns algoritmos de agrupamento hierárquicos, baseados em coeficientes de similaridade e discutiu diferentes medidas de desempenho para a avaliação dos algoritmos na resolução do problema de formação das células.

#### **C.4. Algoritmos de agrupamento baseados em manipulação de matrizes**

No agrupamento baseado em manipulação de matrizes, Tabela C- 4, a identificação das famílias de peças e dos grupos de máquinas, através da troca entre linhas e colunas da matriz, é conseguida simultaneamente quando surgem agrupamentos independentes que significam que cada família é processada no grupo de máquinas respectivo sem interacção entre outros grupos e são assim conseguidos blocos independentes ao longo da diagonal da matriz, também por isso são chamados de Métodos de Blocos Diagonais (BDM)<sup>45</sup>.

Mas estes agrupamentos independentes nem sempre, ou raramente, são conseguidos. Quando existem elementos que não se integram nestes agrupamentos (elementos excepcionais), significa que se requer movimento intercelular das peças. Antes de aceitar esta situação, e porque se sabe que acarreta custos de manuseamento, pode-se tentar eliminar estas excepções através de procedimentos adequados (Singh, 1996). Algumas medidas de eficiência de agrupamento às soluções obtidas foram propostas (Nair e Narendran, 1997) e estudadas e comparadas em Sarker and Mondal (1999).

Embora tenha sido proposto um número de algoritmos para resolver a diagonalização da matriz e o agrupamento, pode acontecer que a própria matriz não seja propensa para tal agrupabilidade, independentemente do algoritmo ser ou não eficiente. Chandrasekharan

---

<sup>45</sup> Block Diagonal Method

e Rajagopalan (1989) estudaram e caracterizaram os factores que afectam esta agrupabilidade.

Tabela C- 4. Métodos de agrupamento baseados em manipulação de matrizes

Métodos	Dados de entrada	Referências e trabalhos	A31	A32	A33	A34	A35
Bond Energy Algorithm (BEA) Direct Clustering Algorithm (DCA) Rank Order Clustering (ROC) Rank Order Clustering 2 (ROC2) Cluster Identification Algorithm (CIA)...	Matriz peças/máquinas, tempos de processamento, número total de máquinas, custo de produção, ...	McCormick, Schweitzer e White (1972)	BEA				
		King (1980)	ROC				
		Chan e Milner (1982)	DCA				
		King e Nakornchai (1982, 1986)	ROC2				
		Chandrasekharam e Rajagopalan (1986)	MODROC				
		Kusiak e Chow (1987)	CIA				
		Kusiak (1988)	Ext. CIA + EXGT-S				
		Co e Araar (1988)	Ext. ROC + PI				
		Cantamessa e Turrone (1997)	CIA mod.+ H				
		Mukhopadhyay e Bhandari (1997)					
		George et al. (2003)					

Existem muitos algoritmos deste tipo, que diferem principalmente na forma como rearranjam as colunas e as linhas. São exemplos o *Bond Energy Algorithm* (BEA) (McCormick, 1972), *Rank Order Clustering* (ROC) (King, 1980), o *Rank Order Clustering 2* (ROC2) (King, 1982), o *Direct Clustering Algorithm* (DCA) (Chan, 1982) e o *Cluster Identification Algorithm* (CIA) (Kusiak e Chow, 1987, Kusiak, 1991). Estes autores foram pioneiros na aplicação de algoritmos de agrupamento através da manipulação das colunas e linhas das matrizes peças/máquinas. No final obtêm quer os grupos de máquinas quer as famílias de peças e expõe os elementos excepcionais, isto é, peças que não se enquadram em nenhum dos agrupamentos efectuados, obrigando à partilha de máquinas e consequentemente ao fluxo intercelular ou à aquisição de máquinas.

O algoritmo ROC original tinha muitas deficiências, tais como as limitações na dimensão da matriz que podia manusear, a dependência da solução final na configuração inicial da matriz e a falta de garantia de encontrar os agrupamentos, caso existissem. Isto conduziu à preocupação dos autores e de outros em encontrar formas modificadas daquele algoritmo que o melhorassem, nomeadamente, o ROC2 de King e Nakornchai (1986) e o MODROC de Chandrasekharan e Rajagopalan (1986).

Estes métodos são incapazes de lidarem com a replicação de tipos de máquinas e aspectos como a sequência das operações, os tempos de processamento, as quantidades de produção, a capacidade das máquinas, entre outros são ignorados na matriz. Quando uma peça requer mais do que uma operação numa máquina (fluxo repetitivo), esta situação também não é identificável na matriz. Pode-se, assim, verificar que são muito restritivos no tratamento do problema. No entanto, fornecem uma primeira solução em que os elementos excepcionais e os grupos obtidos podem depois ser analisados mais detalhadamente com a inclusão de aspectos não considerados inicialmente (Singh, 1996).

Este tipo de métodos também podem ser estendidos a outras dimensões além de máquinas e peças como em Parkin e Li (1997) que programam o algoritmo desenvolvido em Li e Parkin (1997) para incluir a possibilidade de fazer agrupamentos de operadores, vendedores, clientes, sistemas de transporte, entre outros. Estes autores

baseiam-se no “algoritmo do vizinho mais próximo” de Boe e Cheng (1984) que utilizando a matriz de incidência recorrem a uma nova matriz que designam de matriz de proximidade onde cada elemento nessa matriz mede a proximidade da máquina *i* com a máquina *j*. O princípio de manipulação de linhas e colunas mantém-se.

### C.5. Abordagem matemática

Na abordagem matemática são incluídos uma variedade de técnicas analíticas como programação matemática, teoria dos grafos e heurísticas que procuram identificar as famílias de peças e suas correspondentes células, Tabela C- 5.

Tabela C- 5. Métodos e técnicas da abordagem matemática

Métodos	Dados de entrada	Referências e trabalhos	A31	A32	A33	A34	A35	
Programação matemática (PM): inteira linear (PIL) não linear (PNL) linear por objectivo (PLO), inteira mista (PIM) dinâmica (PD) afecção quadrática (PAQ) “branch & bound” (BB) “p-median” (p-m) ...	Matriz peças/máquinas, características dos artigos, planos de processo, procura anual, quantidades e tempos de fabrico, tamanhos de lotes, custos, fluxo de material, quantidade de máquinas de cada tipo disponíveis, quantidades de produção, seqüências das operações, lista de materiais, número de peças, número de máquinas, número de células.	Kusiak (1987)	p-m/PI					
		Co e Araar (1988)	Ext. ROC + PI					
		Choobineh (1988)	SLC mod. + PIL					
		Drolet et al. (1989, 1996)	PI					
		Boctor (1991)	PIL + SA					
		Song e Hitomi (1992)	PIL/BB + TG					
		Rajamani et al. (1992)						
		Irani et al. (1992, 1993)	PI/PL + TG					
		Daehl e Smith (1993)	PIL					
		Min e Shin (1993)	PLO + H					
		Ribeiro e Pradin (1993)	ABCS + PM					
		Arvindh e Irani (1994)	PI					
		Yang e Liao (1996)						
		Kattan (1997)						
		Süer e Bera (1998a, 1998b)		PIM				
		Jeon et al. (1998)	p-m					
		Wang (1998)						
		Molleman e Slomp (1999)	PLO					
		Sofianopoulou (1999)	PL + SA					
		Abdelmola et al. (1998, 1999)	PNL/SA					
		Caux et al. (2000)						
		Won e Lee (2001)	PIL					
		Arzi et al. (2001)	PIM + AG					
		Diallo et al. (2001)	PL					
		Samatova et al. (2001)						
		Wang e Sarker (2002)						PAQ+H
		Norman et al. (2002)						
		Mahesh and Srinivasan (2002)						
Babayigit e Süer (2003)								
Won e Lee (2004)								
Albadawi et al. (2005)								
Süer e Maddisetty (2005)								
Slomp et al. (2005)								
Teoria dos grafos (TG)	Rajagopalan e Batra (1975)							
	Song e Hitomi (1992)	PIL/BB + TG						
	Chatterjee (1992)							
	Irani et al. (1992, 1993)	PI/PL + TG						
	Chen e Guerrero (1994)	ABCS+TG						
	Diaz e Lee (1995)							
Lee e Chiang (2001)								

Heurísticas (H): Within-cell utilization based clustering (WUBC),...	Prabhakaran et al. (2002)						
	Selim (2002)						
	Hollier (1963)						
	Aneke e Carrie (1986)						
	Ballakur e Steudel (1987)	WUBC					
	Askin e Subramanian (1987)	Baseado ROC+ H					
	Logendran (1990)						
	Vakharia e Wemmerlov (1990)	ABCS + H					
	Nagi et al. (1990)						
	Kusiak (1991)	Baseada CIA					
	Okogbaa et al. (1992)						
	Min e Shin (1993)	PLO + H					
	Chung e Fang (1993)	Baseada na WUBC					
	Del Valle et al. (1994)						
	Heragu e Gupta (1994)						
	Langevin et al. (1994)						
	Harhalakis et al. (1994)						
	Süer, Saiz, Dagli, e Gonzalez, (1995)						
	Yang e Liao (1996)						
	Beaulieu et al. (1997)	ABCS + H					
	Vakharia e Chang (1997)						
	Cantamessa e Turrone (1997)	CIA mod. + H					
	Lee e Chen (1997)						
	Taboun et al. (1998)						
	Süer (1998)						
	Wu e Salvendy (1999)						
	Chen (1999)						
	Rajendran e Ziegler (1999)						
	Lockwood et al. (2000)						
	Cheng et al. (2001)						
	Askin e Huang (2001)						
	Chen (2001)						
	Yin e Yasuda (2002)	ABCS + H					
	Venkataramanaiah e Krishnaiah (2002)						
	Marghalany e Vitanov (2002)						
	Lee e Chiang (2002)						
	Wang e Sarker (2002)						PAQ +H
	Reddy and Narendran (2003)						
	Süer et al. (2003)						
	Solimanpur et al. (2004)						
Chan et al. (2004)							
Süer e Subramaniam (2005)							
Yin et al. (2005)							

Chu (1995) estudou a aplicação dos modelos de programação matemática ao problema de formação das células. Verificou que dependendo do modelo considerado, das funções objectivo escolhidas e das restrições, o problema poderia ser formulado de forma diferente. Algumas das observações de Chu (1995) sobre a aplicação dos modelos de programação matemática é que, por um lado, têm flexibilidade suficiente para incorporar objectivos práticos e restrições no modelo apesar deste poder ficar demasiado complexo para ser resolvido. Por outro lado, a afluência de objectivos e restrições que podem ser considerados é tão grande que a sua selecção para a construção



do modelo deve ser extremamente cuidadosa e ir de encontro às necessidades individuais.

Os modelos de programação matemática como programação linear, não linear, inteira, dinâmica e *branch & bound*, entre outros, podem ser usados.

Na teoria dos grafos a matriz de peças/máquinas é representada por um grafo. Kusiak e Chow (1988) distinguem três tipos diferentes de grafos: grafos bipartidos, grafos de transição e grafos fronteira.

Nos grafos bipartidos um conjunto de nós representam as máquinas e um outro conjunto representam as peças existindo um arco entre uma máquina e uma peça se a peça é processada na máquina. Neste tipo de grafo pode identificar-se simultaneamente famílias de peças e grupos de máquinas através da partição sucessiva do grafo original em subgrafos.

Nos grafos de transição uma peça (ou máquina) é representada por um nó e a máquina (ou peça) ou o relacionamento entre as máquinas (ou peças) é representado por um arco. Este tipo de grafo é útil para detectar peças/máquinas que constituem estrangulamentos. Os grafos fronteira consistem numa hierarquia de grafos bipartidos. Em cada nível do grafo fronteira, os nós do grafo bipartido podem representar máquinas ou peças. Tal como o tipo anterior, este tipo de grafo também pode ser aplicado para determinar peças/máquinas que constituem estrangulamentos. A determinação da peça ou máquina estrangulamento num grafo é uma tarefa complexa mas são vários os autores que tentam resolver o problema (Kusiak, 1988) e (Singh, 1996).

Obtidos os grupos de máquinas são afectados os componentes de forma a formar as células, são ainda calculados os movimentos intercelulares e a carga (horas-máquina) em cada máquina da célula para encontrar o número de máquinas de cada tipo necessário na célula. Outros dados necessários são, assim: a procura, a sequência das operações e os tempos de preparação e processamento de cada operação.

A grande dificuldade à aplicação extensa da programação matemática é que com o aumento da dimensão do problema, o tempo computacional para obter uma solução optimizada aumenta exponencialmente considerando-se um problema pertencente à classe não polinomial (NP). A classe NP representa o conjunto de problemas para os quais apenas algoritmos com comportamento exponencial foram encontrados. Nesta classe está contida a classe polinomial (P), que representa o conjunto de problemas para os quais existem algoritmos com comportamento polinomial, sendo sempre possível inflacioná-lo de forma a este tomar tempo exponencial. O contrário, embora preferido, é mais difícil, isto é, conseguir passar um problema originalmente na classe NP, e não na P, para a classe P. Como é importante resolver o problema que não pode simplesmente ficar sem ser resolvido, torna-se importante outra abordagem para chegar a uma solução, se não óptima, pelo menos aproximada (French, 1982).

Essa abordagem passa, muitas vezes, pela utilização de heurísticas que é uma base racional dada a complexidade computacional ao mesmo tempo que tem havido um aumento do poder e eficiência das mais modernas heurísticas (Reeves, 1995). Para Reeves e Beasley (1995) uma heurística é uma técnica que procura boas (i.e. quase óptimas) soluções num custo computacional razoável sem garantir nem a praticabilidade nem a optimabilidade, nem sequer, em muitos casos, estabelece quão próximo da optimabilidade uma solução prática particular se encontra. Mas as heurísticas são normalmente mais flexíveis e capazes de comportar funções objectivo e/ou restrições mais complicadas do que os algoritmos exactos (como o *branch & bound*

e a programação matemática), sendo assim possível modelar com mais realismo os problemas do que com os algoritmos exactos.

Utilizando heurísticas, duas formas de ultrapassar a dificuldade acima referida para chegar a uma solução são possíveis. Uma dessas formas é desenvolver algoritmos heurísticos ou de aproximação que conduzem a soluções heurísticas ou próximas do óptimo (o problema pode ou não estar formulado através de um modelo matemático). A outra forma é decompor o modelo em submodelos resolvendo cada submodelo individualmente por procedimentos óptimos ou heurísticos.

## C.6. Abordagem da Inteligência Artificial

O problema da formação das células é realmente um problema de optimização combinatorial. Os algoritmos de optimização conduzem a uma solução óptima global possivelmente num tempo de computação proibitivo. Assim um número de heurísticas foram propostas em secções anteriores que dão soluções aproximadas num tempo computacional aceitável e incluem já alguma perícia e conhecimento. Apesar disso têm algumas limitações como serem sensíveis à solução inicial, à propensão de formação de grupos na matriz de incidência e à especificação do número de células, entre outras. Desta forma tornam-se necessários outros métodos e técnicas que recorrendo à perícia e conhecimento, o utilizem na forma de aprendizagem continuando a fazê-lo num tempo computacional menor do que utilizando os algoritmos de optimização.

Os métodos apresentados na abordagem da Inteligência Artificial e técnicas de pesquisa local, Tabela C- 6 recorrem assim ao paradigma da aprendizagem e sendo na sua maioria técnicas de pesquisa local, fazem uma pesquisa da vizinhança. Uma vizinhança  $N(x, \sigma)$  de uma solução “x” é um conjunto de soluções que podem ser atingidas a partir de “x” por uma operação simples “ $\sigma$ ”. Tal operação pode ser a remoção ou a adição de um objecto a uma solução. A troca de dois objectos numa solução é outro exemplo de tal operação (objecto neste contexto pode ser uma peça ou máquina). Muitas vezes e, no caso particular de *Tabu Search*, estas operações são chamadas de *moves* (Reeves, 1995). Numa pesquisa local de vizinhança o processo começa com uma solução (sub-óptima) a um problema particular e procura uma vizinhança definida desta solução para tentar encontrar uma melhor. Tendo encontrado uma o processo reinicia-se com esta nova solução. Continua iterativamente desta forma até que nenhum melhoramento seja encontrado. Esta solução final não sendo a solução óptima é, atendendo à sua vizinhança, a óptima local.

Ho et al. (1993) aplicaram métodos de reconhecimento de padrões no projecto de implantações intracelulares. O procedimento enfatiza a similaridade de sequências entre peças e usa esta informação para construir duas configurações de sistemas de fluxos de trabalho alternativas: uma com a disposição das máquinas em linha e outra com uma disposição das máquinas em rede. O procedimento consiste em comparar os planos de processo requeridos para cada peça na família a ser processada na célula com base numa medida de similaridade de sequências de processamento para cada sequência. De maneira a calcular esta medida, são calculados índices (baseados na peça com o maior número de operações) para propor mudanças às sequências iniciais que irão aumentar o potencial para a concretização da optimização do critério, como, por exemplo, a minimização do fluxo inverso.

Ho e Moodie (1994) estenderam esta aplicação, usando a identificação de padrões em sequências operatórias, para projectarem células de montagem flexíveis com fluxos

directos e sequenciais. A preocupação destes está em minimizar o tempo de transferência uma vez que os tempos de montagem são relativamente curtos. As vantagens desta minimização resultam na menor distância percorrida, na facilidade de manipulação dos materiais e numa produção mais eficiente.

Tabela C- 6. Métodos e técnicas de inteligência artificial e pesquisa local

Métodos	Dados de entrada	Referências e trabalhos	A31	A32	A33	A34	A35		
Reconhecimento de padrões (RP)	Matriz peças/máquinas,	Ho et al. (1993)				ABCS + RP			
		Ho e Moodie (1994)							
Redes neuronais (RN): Competitive Learning (CL), Interactive Activation and Competition (IAC), Adaptive Resonance Theory (ART, ART1), ...	características dos artigos como dimensão, forma, seqüências das operações, planos de processo, quantidades e tempos de fabrico, tamanhos de lotes, custos, fluxo de material, quantidade de máquinas de cada tipo disponíveis, dimensão da célula.	Kaparthi e Suresh (1992)	ART1						
		Chu (1993)	CL						
		Moon (1993, 1998)	IAC						
		Dagli e Huggahalli (1993)	ART1						
		Sagi e Chen (1995)	RN + SP + S						
		Christodoulou e Gaganis (1998)							
		Liang e Zolfaghari (1999)							
		Mahdavi et al. (2001)							
		Lozano et al. (2001)	RN + TS						
		Guerrero et al. (2002)							
		Simulated annealing (SA))	de tempos de fabrico, tamanhos de lotes, custos, fluxo de material, quantidade de máquinas de cada tipo disponíveis, dimensão da célula.	Boctor (1991)	PIL + SA				
				Sridhar e Rajendran (1993)					
				Kaebnick e Bazargan-Lari (1996)					
				Elwany et al. (1997)				SA+SP	
Vakharia e Chang (1997)	SA + TS								
Sofianopoulou (1999)	PL + SA								
Abdelmola e Taboun (1999)	PNL/SA								
Caux et al. (2000)									
Askin e Huang (2001)					H+S				
Wang et al. (2001)									
Baykasoglu et al. (2001)									
Xambre and Vilarinho (2003)									
Jayaswal e Adil (2004)									
Baykasoglu (2004)									
Algoritmos genéticos (AG)		Cheng et al. (1998)							
		Joines et al. (1998)							
		Moon e Kim (1999)							
		Moon e Gen (1999)							
		Rao et al. (1999)							
		Lee-Post (2000)							
		Mak e Wong (2000)							
		Plaquin e Pierreval (2000)							
		Onwubolu e Mutingi (2001)							
		Zhao e Wu (2000)							
		Arzi et al. (2001)	PIM + AG						
		Dimopoulos e Mort (2001).	SLC + AG						
		Zolfaghari e Liang (2003)							
		Ravichandra e Suer (2003)							
Dimopoulos e Mort (2004)									
Solimanpur et al. (2004)									
Lourenço e Pato (2004)									

		Gonçalves e Resende (2004)						
		Islrier (2005)						
Tabu search (TS)		Vakharia e Chang (1997)	SA + TS					
		Baykasoglu e Gindy (2000)						
		Urban et al.(2000)						
		Adenso-Díaz et al. (2001)						
		Lozano et al. (2001)	RN + TS					
		Chen e Cao (2004)						
		Cao e Chen (2004)						
	Modelos Fuzzy (MF): Fuzzy ART (FART), Fuzzy Clustering (FC), Fuzzy Min-Max RN (FMM), fuzzy self-organizing feature map (SOM) neural network...		Suresh e Kaparathi (1994)	FART				
		Kamal (1995)	FART					
		Burke e Kamal (1995)	FART					
		Gindy e Ratchev (1997)	FC					
		Lozano et al. (1999)	FC					
		Shanker e Vrat (1999)						
		Gungor e Arikian (2000)						
		Ratchev (2001)	FC					
		Kuo et al. (2001)	SOM					
		Liao (2001)						
		Dobado et al. (2002)	FMM					
		Süer et al. (2005)						
Sistemas periciais (SP) Sistemas de apoio à decisão (SAD)			Kusiak (1988)	Ext. CIA/EXGT-S				
			Mellichamp e Wahab (1987)					
		Aly e Subramaniam (1993)	FMSDDS					
		Sagi e Chen (1995)	RN + SP + S					
		Elwany et al. (1997)				SA +SP		
		Lee e Stecke (1996)				IDaT		
		Kalta et al. (1998)	SAD + S					
		Luong et al (2002)						
Técnicas de "data-mining"		Chen (2003)						

As redes neuronais são uma técnica cujo objectivo está em projectar e implementar sistemas de computador com arquitecturas e capacidades de processamento baseadas nas capacidades de processamento do cérebro humano (Bhatt, 2002). As redes neuronais têm a capacidade de aprenderem com a experiência e se adaptarem a novas situações. Originalmente aplicadas em áreas como reconhecimento de padrões, optimização combinatorial e robótica e controlo de processos, estenderam-se entretanto à área de projecto e produção e, particularmente, à área de formação das células (Wang, 1993) continuando a ser aplicada (Venugopal, 1998).

Os modelos de redes neuronais imitam a forma como os neurónios do cérebro humano podem gerar decisões inteligentes. Basicamente uma rede neuronal artificial consiste num número de unidades de processamento (neurónios artificiais) ligados por conexões directas, com um determinado peso associado. Este peso representa a força das conexões e pode ser positivo (excitadores) ou negativo (inibidores). Cada unidade recebe sinais de entrada através destas conexões, depois aplica-lhes uma função linear ou não linear à soma das entradas e responde emitindo um sinal. Esta operação é desempenhada de uma forma dinâmica, concorrente e contínua para cada unidade de processamento da rede (Singh, 1996).

Existem muitos modelos de redes neuronais que tentam simular vários aspectos da inteligência (Singh, 1996, Burke e Ignizio, 1997).

Venugopal (1998, 1999) classificou as redes neuronais aplicadas à formação das células de acordo com o tipo de entrada, o modo de aprendizagem e o tipo de modelos usados. Os tipos de entradas requeridos podem ser os requisitos de processamento das peças ou a dimensão, forma e características de projecto das peças. O tipo de aprendizagem pode ser supervisionada ou não supervisionada.

Aprendizagem supervisionada requer a comparação do valor de entrada com um valor objectivo que representa a saída desejada, assim os pesos vão sendo alterados iterativamente na base dos erros entre as saídas actuais e as saídas desejadas. Na aprendizagem não supervisionada não existe nenhum valor objectivo pelo que inerente a esta aprendizagem há um mecanismo que reconhece e captura padrões (similaridades) nos valores de entrada e vai criando classes representadas por um valor exemplar.

Os modelos das redes neuronais podem classificar novas peças (máquinas) a grupos existentes sem ter que considerar o conjunto total dos dados tornando-os capazes de manusear grandes conjuntos de dados. Têm a capacidade de aprender padrões complexos e generalizar rapidamente a informação aprendida e ainda a capacidade de trabalhar com informação incompleta (Venugopal, 1998).

Os algoritmos de *Simulated Annealing* são algoritmos de aproximação geralmente aplicáveis, flexíveis, robustos e fáceis de implementar capazes de obter soluções próximas do óptimo (Laarhoven, 1989). Foram propostos inicialmente em 1953 por Metropolis et al. (1953) como algoritmos para a simulação eficiente do arrefecimento de um sólido e só passados 30 anos é que Kirkpatrick et al. (1982) e Černý (1985) sugeriram que este tipo de simulação poderia ser usado para pesquisar soluções de um problema de optimização, com o objectivo de convergir para uma solução óptima (segundo Laarhoven, 1989 e Reeves, 1995). São algoritmos de pesquisa que emulam fenómenos naturais que advém das ciências físicas (Joines, 1998).

Os algoritmos de *Simulated Annealing* são baseados no modelo de Monte Carlo usado para estudar a relação entre a estrutura atómica, a entropia e a temperatura durante o arrefecimento dos metais. Esta técnica simula o processo de arrefecimento de um sistema físico até este atingir um estado de energia mínima. Os passos principais para obter os agrupamentos são: obtenção de solução inicial, geração de soluções de vizinhança, aceitação ou rejeição da solução gerada e término (Singh, 1996). Em primeiro lugar é especificado o número máximo de células. Uma afectação de máquinas inicial às células é gerada usando uma regra predefinida. Em cada iteração a geração de soluções é conseguida movendo uma máquina (escolha aleatória) da corrente célula para uma outra célula (escolha aleatória), formando uma nova afectação de máquinas. As peças são alocadas a esta nova afectação e o valor objectivo é calculado.

A solução gerada é aceite se o valor da função objectivo melhora. Se isto não acontecer a solução é aceite com uma probabilidade dependente do valor da temperatura (parâmetro) que é preparado para aceitação de uma grande proporção de soluções geradas no princípio. Depois, este valor é alterado para reduzir a probabilidade de aceitação. Em cada temperatura muitos movimentos são tentados e o algoritmo pára quando as condições predefinidas são encontradas. O fim é chegado quando se chegou ao máximo de iterações ou a um rácio de aceitação está abaixo de um determinado valor (Singh, 1996).

Os algoritmos genéticos (AG) são algoritmos eficientes de pesquisa estocástica que emulam fenómenos naturais, tal como *simulated annealing*, mas neste caso decorrentes das ciências biológicas e que tem sido usados para resolver uma ampla série de

problemas de optimização, especialmente problemas de optimização combinatorial como são os da formação das células devido à natureza NP do problema de agrupamento e à existência de mínimo local (Joines, 1998). Estes são apenas uma das abordagens possíveis de algoritmos evolucionários (Pierreval et al., 2003).

Segundo Holland (1992, citado em Singh, 1996) um algoritmo genético é uma técnica inspirada no processo da evolução natural pela implementação de uma estratégia de “sobrevivência do mais adaptável”, daí serem chamados de algoritmos evolucionários. Na evolução o problema que cada espécie enfrenta é o de procurar adaptações benéficas a um ambiente complicado e em mudança. O conhecimento que cada espécie adquire é embebido nos cromossomas dos seus membros.

A técnica assenta em seis conceitos chave: representação, inicialização, função de avaliação, reprodução, cruzamento e mutação. Uma solução candidata é representada por uma sequência de genes ou números binários e chama-se cromossoma. O potencial do cromossoma como solução é determinada pela função de adequabilidade que avalia o cromossoma relativamente à função objectivo do problema de optimização.

Quando aplicado a um problema, o AG usa um mecanismo baseado na genética para iterativamente gerar novas soluções das soluções correntemente disponíveis. Depois substitui alguns ou todos os membros existentes do total das soluções disponíveis com os novos membros criados. A motivação por trás deste mecanismo é a de que a qualidade das soluções deve melhorar com o decorrer do tempo, um processo semelhante àquele que a natureza parece seguir, o princípio de “sobrevivência do mais adaptável” (Bhatt, 2002).

No âmbito da formação das células, cada gene representa um número de célula e a posição da cada gene no cromossoma representa um número de máquina ou um número de peça (Singh, 1996). O processo de inicialização pode ser executado com uma população gerada aleatoriamente ou uma população bem adaptada (semente).

A função de avaliação ou adaptabilidade é calculada para cada individual na população e o objectivo é encontrar um individual com um valor máximo. O objectivo do problema da formação das células é minimizar a soma pesada de elementos vazios e excepcionais. É necessário delinear este objectivo numa função de adaptabilidade através de um ou mais planos.

Segundo Goldberg (1989, citado em Singh, 1996) os indivíduos com um maior valor de adaptabilidade são seleccionados para cruzamento e mutação usando um processo de selecção de amostragem estocástica sem substituição. Os cromossomas a serem cruzados e os pontos de cruzamento são seleccionados aleatoriamente

*Tabu search* utiliza um conjunto de operadores para orientar num processo sucessivo que passa de um estado para outro até obter um valor para a função objectivo próximo do óptimo. *Tabu search* opera com um conjunto dinâmico de operadores. Baseando-se nos dados históricos, este conjunto consiste num conjunto de restrições tabu que classificam certos movimentos como movimentos proibitivos, juntamente com um conjunto de critérios capazes de ultrapassar o estado tabu (Bhatt, 2002), Glover (1986) e Hansen (1986) teriam originalmente aplicado *tabu search* a problemas de optimização combinatorial, tais como o problema do caixeiro viajante e o escalonamento em oficinas.

Os modelos *fuzzy* baseiam-se na lógica difusa onde cada preposição em vez de tomar um valor verdadeiro ou falso tem uma probabilidade associada de ser verdade. Desta

forma operadores lógicos e teoria de probabilidades são combinadas para modelar raciocínio com incerteza (Zelezniow, 2001).

Venugopal (1998, 1999) classificou os modelos fuzzy aplicados à formação das células de acordo com o tipo de entrada e as abordagens. Os tipos de entradas requeridos podem ser os requisitos de processamento das peças ou a dimensão, forma e características de projecto das peças. As abordagens podem ser versões fuzzy dos métodos clássicos/convencionais (por exemplo: *fuzzy single linkage clustering* e programação matemática fuzzy) e versões fuzzy de métodos modernos/inteligentes (por exemplo: redes neuronais fuzzy e sistemas periciais fuzzy).

Um sistema pericial é um programa informático que usa conhecimento de um domínio específico para resolver um problema desse domínio com um grau de desempenho comparável ao de um perito. Um sistema pericial é constituído por um interface através do qual o utilizador interage com o sistema, por uma base de conhecimento onde o conhecimento é representado por regras e um mecanismo lógico<sup>46</sup> que aplica o conhecimento para solucionar os problemas (Luger, 1998). As regras tentam emular o processo de raciocínio das pessoas num domínio específico. Os sistemas periciais conseguem resolver problemas complexos, com dados incompletos e inexactos, isto quer dizer que são capazes de lidar com a incerteza (Canada, 1989).

Através do trabalho de Kusiak (1988) verificou-se a utilização de um sistema pericial aplicado ao problema de formação de células. Mas este autor não foi o primeiro a utilizar os sistemas periciais pois Mellichamp e Wahab (1987) tinham já implementado um sistema pericial para o projecto de Sistemas de Produção Flexíveis, seleccionando através deste o equipamento como as máquinas, robots, transportadores, entre outros.

Segundo Bhatt e Zaveri (2002) um sistema de apoio à decisão (SAD) é uma aplicação informática que facilita e aceita entradas de um grande número de factos e métodos e converte-os em comparações, gráficos e tendências com significado que facilitam a tomada de decisão. Um SAD ajuda no processamento, avaliação, categorização e/ou organização da informação de forma a ser facilmente recuperável.

O objectivo deste tipo de sistema é melhorar uma tomada de decisão pelo melhor entendimento e preparação das tarefas que conduzem à avaliação e selecção. Estas tarefas fazem parte do processo de tomada de decisão. Este tipo de sistema é útil quando existe um objectivo a atingir mas nenhuma solução algorítmica nem conhecimento anterior (ou pouco) (Kalta, 1998) aplicando-se a situações onde não é possível ou não é desejável ter um sistema automático a realizar todo o processo de decisão.

Tal como os sistemas periciais, o SAD inclui uma base de conhecimento, um mecanismo lógico e um interface através do qual o utilizador interage com o modelo para obter soluções ao problema equacionado mas pode ser mais extensiva que os sistemas periciais uma vez que pode integrar sistema periciais, simulação, modelos económicos e outros métodos.

A aplicação das técnicas de *data-mining* é realizada em Chen (2003) para encontrar associação entre máquinas através de uma técnica referida como regra de associação por indução (*association rule induction*). Os relacionamento entre máquinas é encontrado nos dados de fabrico. As máquinas que processam as mesmas famílias podem ter associações e poderão formar um agrupamento.

---

<sup>46</sup> Inference engine

## C.7. Simulação

Os dois principais objectivos para empregar simulação são a sua utilização como uma ferramenta de suporte à decisão e a sua utilização como ferramenta para entender e aprender sobre sistemas de produção complexos. A simulação manuseia os efeitos de dinâmica e de dominó aparente em qualquer sistema de produção e as consequências são avaliadas sem interrupção do sistema. Um grande número de soluções podem ser investigadas podendo a simulação conjurar novas soluções alternativas que nem sequer tinham sido pensadas (Strandhagen, 1995). A simulação tem sido aplicada com sucesso tanto ao projecto como à operação dos sistemas de produção, Tabela C- 7.

Tabela C- 7. Simulação

	Dados de entrada	Referências e trabalhos	A31	A32	A33	A34	A35	
Simulação (S)	Número de máquinas, número de operadores, dimensão do buffer, sequência das operações, ...	Black e Schroer (1988, 1994)						
		Black e Chen (1995)						
		Sagi e Chen (1995)	RN + SP + S					
		Kamrani et al. (1995)						
		Massay et al. (1995)						
		Chan e Abhary (1996)						
		Fozzard et al. (1996a, 1996b)						
		Park e Lee (1995)						
		Nunes (1997)						
		Kalta et al. (1998)	SAD + S					
		Cabrera-Rios et al. (2002)						
		Paquet e Lin (2003)						





## **APÊNDICE D - Aplicação da metodologia GCD a um caso industrial**



## **D. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA GCD A UM CASO INDUSTRIAL**

### **D.1. Estudo de caso**

Neste trabalho procura-se avaliar e melhorar a metodologia proposta para o projecto de Sistemas de Produção Orientados ao Produto. O interesse principal nesta investigação é verificar, por um lado, se na metodologia desenvolvida são requeridos todos os dados e informações importantes e instrumentais para obter os resultados esperados e, por outro lado, se alguns dos dados e informações já presentes na metodologia fazem sentido e não estão a mais. Nesta abordagem alguns aspectos do funcionamento da metodologia não se evidenciam, nomeadamente os aspectos das restrições e dos mecanismos.

Para isso aplicou-se a metodologia a um caso industrial, sinteticamente apresentado em Silva e Alves (2003). Embora este caso possa ser visto como um estudo de caso é numa perspectiva instrumental, i.e. estudo de caso instrumental que segundo Stake (1995, 1998) serve de base de trabalho para uma determinada investigação ou para o aperfeiçoamento de uma teoria. O caso em si mesmo tem um interesse secundário, uma vez que o seu papel é de suporte e funciona como um facilitador para o conhecimento de outra temática. Ainda segundo este autor os estudos de casos podem ser classificados em 3 tipos, sendo o aqui referido um deles. A descrição e utilidade dos outros pode ser encontrada na bibliografia, nomeadamente em Yin (1994) e Creswell (1994).

Esta abordagem envolve ciclos de interacção entre a formulação teórica da metodologia e o teste/avaliação da metodologia pela sua aplicação a casos industriais. O processo iterativo de aplicar/avaliar/refinar requer a identificação de cenários industriais, a recolha de dados relevantes, a aplicação da metodologia e avaliação do seu desempenho.

### **D.2. A empresa**

A empresa estudada é uma PME e localiza-se no Minho, tendo aproximadamente 140 trabalhadores. A empresa recorria frequentemente à subcontratação para complementar a sua capacidade de produção tendo um total de 40 subcontratados, principalmente localizados no Minho e alguns em países da Europa de Leste.

Esta empresa fabricava roupa de bebé e de crianças. Para cada família de mercado existia uma elevada variedade de tamanhos relacionada com as idades das crianças (tipicamente desde um mês até aos 5 anos de idade).

A concorrência neste sector é muito forte pelo que as empresas têm de ser eficazes. Isto requer uma boa organização e boas práticas.

A empresa operava desde 1979 oferecendo predominantemente os seus produtos ao mercado. Entretanto a empresa foi se movimentando para outro paradigma, desenvolvendo colecções de novos produtos a cada 6 meses, que vendia na Europa, directamente ou indirectamente aos retalhistas, possuindo ainda lojas próprias com marca da empresa. Os dados usados neste estudo baseiam-se fundamentalmente neste paradigma.

Uma das funções de produção mais importante ao sucesso da empresa é a confecção. Desta forma este estudo focou-se essencialmente no sistema de confecção da empresa. A gestão considerava existir lugar a melhorias nesta área.

Uma visível dificuldade era o planeamento e controlo da produção e, assim, conseguir uma boa utilização dos recursos de produção existentes. Este era um factor para a perda de eficácia de produção.

Algumas observações da instalação mostraram que existia um elevado grau de inactividade incluindo inactividade do operador, considerável manuseamento manual e elevados níveis de trabalho em curso. Era também visível que os produtos eram produzidos em quantidades superiores às quantidades encomendadas numa atitude de “*just in case*”, para fazer face às roturas que poderiam ocorrer devido aos elevados níveis de produtos defeituosos e à fraca fiabilidade operatória, incluindo avarias e mau funcionamento das máquinas. Adicionalmente, e dadas estas deficiências operatórias, stocks superiores aos necessários e maiores áreas de armazenagem eram necessárias, conduzindo a elevados níveis de capital empatado, assim como, elevados tempos de preparação e, conseqüentemente, elevados tempos de entrega.

Com base nestes reconhecidos pontos fracos, a empresa decidiu estrategicamente resolver estas deficiências e melhorar a qualidade dos produtos através da melhoria do projecto e operação do sistema. Adicionalmente, de forma a melhorar o controlo do fluxo de produção e a respeitar os prazos de entrega, pretendia-se que o planeamento e controlo da produção melhorasse com este processo.

### D.3. Aplicação da metodologia

#### D.3.1. Projecto Genérico (A1)

A descrição da empresa apresenta já alguns pontos que se relacionam com as actividades da fase do Projecto Genérico pois as escolhas e decisões nesta fase dependem principalmente da estratégia de produção e do mercado da empresa, do sistema de produção actual e dos recursos existentes.

##### D.3.1.1. Planeamento estratégico da produção (A11)

Nesta actividade pode-se começar por classificar o tipo de estratégia de resposta à procura que a empresa persegue. Inicialmente com uma estratégia de Fabrico por Encomenda, a empresa começa a participar no mercado com a criação de colecções próprias lançadas em catálogo (possui 2 colecções lançadas de 6 em 6 meses) e venda directa em lojas, mudando um pouco a estratégia. Para identificar essa estratégia considere-se as Tabela 7 e Tabela 8 da secção 5.1.1. atribuindo a percentagem adequada a cada factor, Tabela D- 1, a percentagem escolhida está a negrito e dentro de um rectângulo.

**Tabela D- 1. Identificação dos factores adequados para selecção da ERP**

Destino dos produtos	<b>0</b>	25	75	100
	Encomenda	Variável	Stock dos módulos	Stock
Tempo que o cliente está disposto a esperar pela encomenda	0	25	50	75
	Elevado	Médio	Variável	Reduzido
				<b>100</b>
Variedade dos produtos	0	<b>25</b>	75	100
	Infinita	Elevada	Alguma	Reduzida
Natureza do produto	0	<b>25</b>	50	75
	One of a kind	Alguns de um tipo	Produtos flexíveis	Produtos modulares
				Bens de consumo
Procura	<b>0</b>	50	100	
	Imprevisível	Previsível apenas para os módulos	Previsível	
Concorrência em tempo de	0	25	50	75
				<b>100</b>

resposta	Nenhuma	Pouca	Variável	Moderada	Forte	
Satisfação de encomendas	0	25		75	100	
	Capacidade	stock		Componentes e submontagens	Produtos finais	
Estrutura de BOM	0		50		100	
	únicos e criados para cada cliente		Planeados	Normalizados		
Base planeamento e programação da produção	0	25		75	100	
	Encomendas	Compromissos e encomendas		Previsões e compromissos	Previsões	
Quantidade de produção	0	25	50	75	100	
	Muito reduzida	Reduzida	Variável	Média	Elevada	
Contacto entre produção e cliente	0	25	50	75	100	
	Ao nível de eng <sup>a</sup>	Ao nível de eng <sup>a</sup> e vendas	Variável	Ao nível de vendas	Reduzido/distante	
ERP	0	150	375	675	725	1100
	ETO	MTO	MTD	ATO	MTS	
	0	13,63	34,1	61,3	65,9	100%

O total é:  $0*3+25*4+50*1+75*2+100*2= 500$ , isto aponta para uma estratégia que se situa entre o Fabrico por Procura e a Montagem por Encomenda. Uma interpretação deste resultado é que a empresa deve tornar-se mais rápida a produzir em pequenas quantidades de variados produtos.

Particularmente relevantes nesta actividade são as quantidades agregadas de produção e a variedade de produtos a produzir incluídas nas famílias de mercado. As principais famílias de mercado e quantidades produzidas pela empresa eram:

Fato	91507	Macacão	32394
Jardineira	52927	Fato de treino	29215
Conjunto de três peças	7753	Camisola	11574
Calção	12605	Casaco	6400
Pijama	3338	T-shirt	2597

### D.3.1.2. Análise dos recursos da empresa e do mercado (A12)

Para cada família existe uma diversidade de referências que representam produtos compostos diferentes. Para cada produtos existe ainda uma grande variedade de medidas desde 1 mês até 5 anos. Os produtos simples são as peças cortadas, por exemplo, costas, frentes, mangas, golas e pernas.

A matéria prima utilizada para produzir as peças é a malha, além desta é necessário um conjunto de matérias subsidiárias como botões, elásticos, laços, rendas, molas entre outros.

Os tipos principais de máquinas existentes na confecção assim como o número de cada tipo estão na Tabela D- 2 onde se pode ver que as máquinas são, maioritariamente, máquinas de Corte e Cose. Das 47 máquinas de Corte e Cose, algumas apresentam características específicas. Nem todas as máquinas disponíveis são utilizadas simultaneamente, encontrando-se algumas delas parqueadas. Na secção de acabamentos existem duas prensas operacionais e na secção de embalagem existem várias mesas de embalagem.

**Tabela D- 2. Designação e quantidade de máquinas**

Designação	Quantidade
Máquina de Corte e Cose (mcc)	47
Máquina de Ponto Corrido (mpc)	13
Máquina de Clorete (mcl)	7
Máquina de Elástico (mel)	3
Máquina de Mosquear (mmo)	1
Máquina de Pregar Botões (mpb)	1
Máquina de Picueta (mpi)	1
Máquinas de Molas (mmol)	6 (3 pares)
Mesas de Acabamento	11

Os recursos humanos existentes na empresa distribuem-se pelas funções segundo a Tabela D- 3.

**Tabela D- 3. Distribuição dos Recursos Humanos pelas funções**

Gerência	1
Administração e Financeiro	10
Comercial	6
Estilismo e criação	7
Produção	
- total	112
- costureiras	45
Outros	5
Total	141

Os processos principais da empresa estão representados na Tabela D- 4, estando os bordados e a estampagem a cargo de outras empresas filiais da estudada. Nesta tabela pode ainda ver-se uma estimativa do intervalo de tempo que demoraria a movimentar o equipamento se fosse necessário.

**Tabela D- 4. Processos e equipamento principal da empresa**

Processos principais da empresa	Equipamento principal (tipo)	Unidades existentes	Intervalo de tempo que demora a movimentar
Tinturaria	Tanques	3	Elevado
Corte	Mesas de corte	2	Elevado
Confecção	Máquinas de corte e cose	47	10-60 minutos
	Máquinas de ponto corrido	13	
	Outras	20	
Bordado	Empresa X	1	-----
Estampagem	Empresa Y e Z	2	-----

Na confecção identificam-se como principais operações genéricas: as operações de corte e cose (CC), as operações de ponto corrido (PC), as operações de clorete (CI), as operações de meter elástico (EI) e as operações de mosquear (Mo). Na operação de corte e cose que utilizam a máquina de corte e cose existem várias operações como preparar e coser gola.

Devido às diferenças de requisitos da confecção para cada modelo, é requerido um grande esforço de programação e manuseamento de materiais, ocorrendo frequentemente perda de eficiência de produção.

Na mesa do corte são cortados lotes de peças iguais (costas, frentes,...) que são levados para a confecção. Em cada posto a operadora agarra uma peça de um lote (por exemplo: as costas) e outra peça de um outro lote diferente (por exemplo: as frentes) e une as duas peças, costurando-as. Após terminar todas as peças de dois

lotes diferentes, as peças costuradas são encaminhadas para o próximo posto para lhe ser adicionada mais uma peça (por exemplo: mangas). A maioria das máquinas usadas para processar a gama de produtos são muito simples, com uma função apenas de processamento, accionadas pela operadora até acabar a operação. Embora algumas operadoras possam trabalhar em mais do que um tipo de máquina, normalmente cada uma trabalhava, sentada, apenas numa.

Na secção da confecção podem distinguir-se 3 classes de operações: operações de preparação, operações de costura e as operações de acabamento.

As operações de preparação diferem para quase todos os produtos inclusive da mesma família de mercado, exigindo estas diferentes tipos de máquinas. Isto sugere que, a não ser que existam máquinas e operadores suficientes, pode ser difícil integrar estas operações no SPOP projectado para cada família de produção, dada a sua dissimilaridade. Exemplos destas operações são a preparação das golas e dos punhos.

As operações de costura mais frequentes variam de família para família embora dentro da mesma família sejam semelhantes e utilizam quase sempre o mesmo tipo de máquina costurando as frentes, as costas, as mangas e as outras peças constituintes de um produto, Tabela D- 5. As operações de costura estão codificadas através de 3 dígitos, codificação usada pela empresa.

**Tabela D- 5. Operações de costura das referências**

Código	Designação	Operação genérica	Máquina
400	Coser ombros	Corta e cose (CC)	mcc
410	Coser mangas	Corta e cose (CC)	mcc
415	Emendar carcela ou colete	Corta e cose (CC)	mcc
420	Fechar lados (+1/2)	Corta e cose (CC)	mcc
430	Fechar entre pernas	Corta e cose (CC)	mcc
440	Coser patas	Corta e cose (CC)	mcc
600	Coser punhos	Corta e cose (CC)	mcc
601	Cravar viés decote ou coser alças	Ponto Corrido (PC)	mpc
602	Meter viés decote ou meter colorete decote	Clorete (Cl)	mcl
603	Coser fecho + reforços	Corta e cose (CC)	mcc
604	Meter elástico cinta	Elástico (El)	mel
606	Fechar ½ lado + elástico	Corta e cose (CC)	mcc
607	Mosquear fecho, gola ou bainha	Mosquear (Mo)	mmo
610	Coser gola ou capucho + etiqueta	Corta e cose (CC)	mcc
611	Pregar laços ou fitas	Ponto Corrido (PC)	mpc
613	Fazer bainha fundo e/ou rachas	Corta e cose (CC)	mcc
620	Passar ponto pontas colete ou rachas ou cinta (o) + fitas	Corta e cose (CC)	mcc

As operações de acabamento são comuns à maioria dos artigos e envolvem o remate e revista dos produtos, colocar molas e prensar.

Este estudo não inclui o corte e concentra-se assim nas operações de costura e acabamento da secção de confecção.

A implantação inicial do sistema está representada na Figura D- 1. Pode dizer-se que neste sistema a confecção era processada por grupos de máquinas arranjados em linhas dedicadas a todos os produtos. Em dois destes grupos a maioria das máquinas eram máquinas de corte e cose, configurando grupos de máquinas orientados à função. Tal arranjo implicava alguns problemas apontados pela empresa como elevadas movimentações dos lotes que conduzia a uma gestão complexa da área pois muitas vezes começavam um produto num grupo e acabavam no outro grupo,





Tabela D- 6. Caracterização do sistema actual da empresa

Características sistema actual	Quantificação	Valores
1. Tipo de configuração genérica	0	100%
	Por processo ou funcional	Por produto
2. Tipo de implantação fabril	0	100%
	Oficina funcional	Linha célula
3. Tamanho do lote	0	100%
	Fabricação unitária/pequenas séries	De grandes a pequenas séries
4. Tempo de produção por unidade	0	100%
	Longo, variável	Curto, constante
5. Custo unitário por artigo	0	100%
	Elevado	Reduzido e médio
6. Fluxos de produção	0	100%
	Imprevisíveis	Bem definidos e previsíveis
7. Planos de processos e sequência operatória	0	100%
	Diversificada	Previamente definidos e uniformes
8. Preparação do trabalho ou dos processos	0	100%
	“Ad hoc”	Rigorosa
9. Controlo da produção	0	100%
	Difícil	Fácil
10. Tempos de preparação (% do total)	0	100%
	Elevados	Baixos
11. Máquinas/postos de trabalho	0	100%
	Simples, flexíveis	Complexas e dedicadas
12. Utilização do equipamento	0	100%
	Baixa e muito baixa	Elevada
13. Mão de obra	0	100%
	Elevada e funcional	Especializada e polivalente
14. Risco de investimento	0	100%
	Baixo	Elevado e médio
15. Dedicção do sistema	0	100%
	Todos os produtos	Um produto ou família
Total	0	1500
	SPOF	SPOP

O sistema existente, de acordo com os valores atribuídos permite classificá-lo como um SPOF.

Na descrição do sistema foram identificados problemas que se identificam com os problemas que podem ser resolvidos com a reconfiguração do sistema e são:

- elevado número de trabalhos em curso de fabrico
- tempos de entrega tardios
- acompanhamento da produção complexo e demorado
- elevada inactividade do operador,
- considerável manuseamento manual
- elevado número de produtos defeituosos
- fraca fiabilidade operatória, incluindo avarias e mau funcionamento das máquinas
- stocks superiores aos necessários e grandes áreas de armazenagem
- elevados níveis de capital empatado
- elevados tempos de preparação

### D.3.1.3. Selecção da configuração genérica do sistema de produção (A13)

Todas as informações recolhidas são necessárias para apoiar a selecção da configuração genérica. O primeiro critério é a tabela de decisão apresentada na tabela 12. Os dados para esta tabela são a quantidade anual, a variedade, o tempo de produção, as horas de trabalho semanais e o tempo de reconfiguração:

Quantidade (Q) = 250310 unidades /ano

Variedade (P) = 10 famílias

Tempo de produção médio por produto (Tp) = 8 minutos

Horas semanais (HS) = 40 horas/semana (8 horas por dia e 5 dias por semana)

Como a empresa produz duas colecções para um período de 6 meses, o sistema é preparado para esse período e o tempo de reconfiguração é calculado atendendo que o equipamento demora 1 hora a ser deslocado. Supondo que a 6 meses correspondem 960 horas tem-se que o  $Tr = 0,1\%$ , o que não é muito significativo.

Introduzidos estes dados na tabela de decisão, esta indica o SPOP como sistema a escolher.

$$Q/P = 25031 \text{ unidades/família} \Rightarrow \text{Elevado } (\geq 10000) \quad \text{TPA} = ((Q/P * T_p) / (HS * 60)) \approx 83 \text{ semanas} \Rightarrow \text{Elevado } (\geq 40) \quad \text{Tipo de sistema} \Rightarrow \text{SPOP}$$

O segundo critério é a selecção da configuração genérica através da utilização do método de análise pesada de factores. Para isso é necessário atribuir pesos aos factores de avaliação, atendendo aos objectivos da empresa e usando a Tabela 13, Tabela D- 7.

**Tabela D- 7. Aplicação do método de análise pesada de factores aos dados da empresa para selecção entre SPOP e SPOF**

Factores de avaliação	Peso	SPOP		SPOF	
Elevada taxa de produção	4	5	20	2	8
Elevada variedade de produtos	8	2	16	5	40
Possibilidade de reconfigurar o sistema sempre que muda o leque de produtos	8	5	40	2	16
Dedicação do sistema a um produto ou família	7	5	35	2	14
Sistema imutável, permanente para todos os produtos	2	2	4	5	10
Tempo de produção curto por unidade	6	5	30	2	12
Custo unitário reduzido por artigo	6	5	30	2	12
Fluxos de produção bem definidos e previsíveis	7	5	35	2	14
Planos de processos e sequência operatória previamente definidos e uniformes	7	5	35	2	14
Preparação do trabalho ou dos processo rigorosa	6	5	30	2	12
Controlo da produção facilitado	8	5	40	2	16
Tempos de preparação (% do total)	6	2	12	5	30
Rapidez de entrega dos produtos	10	5	50	2	20
Utilização de equipamento	6	2	12	5	30
Ocupação das pessoas	8	5	40	2	16
Qualidade dos produtos	10	5	50	2	20
Aproximar o tempo de percurso do produto ao tempo de produção	9	5	45	2	18
Total			524		289

Atribuídos os pesos e calculados os totais verifica-se que o método aponta um SPOP.

O terceiro critério é usar o resultado da Tabela D- 1. A estratégia apontada ficou entre o Fabrico por Procura e a Montagem por encomenda portanto este resultado não elucida a decisão de optar por um ou outro sistema.

O quarto critério é a estrutura de mercado. Pode-se caracterizar este mercado da empresa como um mercado estável e regular uma vez que a procura no médio prazo é conhecida baseando-se nas encomendas dos clientes e na preparação das colecções. Não é um mercado de grandes quantidades, mas estas quantidades estão associadas a uma variedade razoável de artigos a produzir durante um determinado período. Portanto relativamente ao mercado pode-se dizer que a escolha também é a de um sistema orientado ao produto.

A caracterização do sistema actual é o quinto critério e na Tabela D- 6 procurou-se essa caracterização que indicava como sistema actual um sistema mais parecido com um SPOF. Atendendo aos muitos problemas apontados ao sistema actual e que também constituem um critério para a tomada de decisão (sexto critério) é inevitável pensar que a mudança e adopção de outro sistema poderá resolver senão todos, pelo menos alguns destes problemas.

Para sistematizar este procedimento e concluir sobre a decisão a tomar nesta actividade, preenche-se a Tabela D- 8 baseada na Tabela 17.

**Tabela D- 8. Selecção da configuração genérica para a empresa usando todos os critérios**

Critérios finais /possíveis resultados	R1
C1 - resultado da tabela de decisão SPOP X SPOF NR	
C2 – resultado da selecção SPOP X SPOF	
2 Respostas	SPOP
C3 – estratégia de produção ETO, ATO, MTS (SPOP) X MTO, MTD (SPOP/SPOF) X	
C4 – estrutura do mercado Estável/instável, regular/irregular, quantidade X variedade (SPOP) Instável, irregular, variedade (SPOF)	
C5 – sistema actual SPOP SPOF X	
C6 – identificação de problemas	X
Acção	SPOP

Segundo a Tabela 17 as duas primeiras respostas seriam suficientes para optar por um SPOP. O critério 3 não ajuda muito a tomada de decisão e o C5 reforça a necessidade de mudança.

Com a informação disponível nesta fase é possível responder à questão fundamental do Projecto Genérico, i.e. se o SPOF ou o SPOP ou alguma forma híbrida deve ser adoptada. Embora todos os esforços sejam no sentido de chegar a SPOP puros, sempre que possível, a configuração híbrida pode ser considerada. Atendendo à descrição efectuada, verifica-se grandes diferenças nas operações de preparação entre produtos. Assim talvez uma secção separada para estas possa ser adoptada, todavia

não vê nenhuma razão para não se integrar as operações de costura e algumas de acabamento no mesmo SPOP. A análise dos requisitos de produção das famílias de mercado vai mostrar que alguns produtos têm requisitos de costura e tecnológicos idênticos e outros nem por isso. Isto sugere que famílias de produção podem ser identificadas conduzindo a SPOP.

### D.3.2. Projecto Conceptual (A2)

O principal objectivo nesta fase de projecto é seleccionar configurações conceptuais das células, que uma vez implementadas na práticas, conduzem a configurações detalhadas de SPOP. Adicionalmente, nesta fase desenvolve-se uma primeira aproximação à formação de famílias de produção de produtos compostos e/ou de produtos simples. É também importante especificar a natureza e características dos postos de trabalho tais como as funções, flexibilidade e competências dos operadores. Baseando-se nestes dados e objectivos duas actividades são desenvolvidas: selecção de configurações conceptuais - A21 - e selecção de postos de trabalho -A22 -.

#### D.3.2.1. Selecção de configurações conceptuais de células (A21)

Existem duas classes fundamentais de células conceptuais: as células básicas e as não básicas. Usando a Tabela 18 e dando o maior peso à independência das células pois não interessa começar um trabalho numa para acabar numa outra (que era o que já acontecia) e à facilidade de reconfiguração para o sistema adaptar-se rapidamente às necessidades do mercado pode-se tentar averiguar qual a preferência da empresa em relação a estas duas classes, Tabela D- 9.

**Tabela D- 9. Aplicação do método de análise pesada de factores aos dados da empresa para selecção entre células básicas e não básicas**

Factores de avaliação	Peso	CB		CNB	
Independência	10	5	50	1	10
Redução do número de famílias de produtos	4	2	8	5	20
Necessidade de partilha de equipamento	4	1	4	5	20
Minimização de movimento intercelular	6	5	30	1	6
Minimização dos tempos de espera	5	5	25	2	10
Facilidade de reconfiguração	9	5	45	2	18
Total			162		109

Atribuídos os pesos aos factores conclui-se pelas células básicas que vai de encontro ao objectivo de projectar SPOP promovendo o controlo fácil das células e do sistema como um todo, assim como, mais qualidade de produção e responsabilidade.

Usando ainda a tabela de decisão apresentada na Tabela 19 e supondo que a capacidade do sistema ( $C_p$ ) é de 48 semanas \* número de operadoras, o que dá um total de 2160 semanas, significa que as células básicas são seleccionadas.

$$Q/P = \text{TPA} \approx 83 \text{ semanas} \quad \text{Carga anual} = (Q \cdot T_p) / (60 \cdot HT \cdot DT) \approx 834 \quad \text{Célula básica}$$

25031 => => elevado      semanas (<  $C_p$ )  
elevado

Estes dois critérios dão a indicação de que as células básicas parecem ser viáveis para este sistema. Para confirmar esta indicação vai ser seguido o procedimento descrito na secção 5.2.1. de procurar as famílias de produção nas famílias de mercado recorrendo à similaridade dos processos principais, depois das operações genéricas e, se possível, das operações de processamento. Este consiste no primeiro

passo (passo A21.1) para avaliar a possibilidade de formar células básicas de fluxos directos com as máquinas disponíveis e existentes na empresa. É constituído por 5 tarefas a serem realizadas:

1.1. - consiste em identificar famílias de mercado (FM) e os processos principais (PP) das FM identificadas;

1.2. - consiste na representação desta informação numa matriz do tipo 0/1

1.3 - identificação das similaridades de processamento

1.4. - consiste na desagregação em operações genéricas e em verificar se as FM similares continuam similares ou se devem ser separadas

1.5. - desagregação das famílias de mercado em produtos compostos

O segundo passo (passo A21.2) é constituído por 4 tarefas e consiste em calcular as máquinas necessárias para cada família de produção.

Estudar todas as referências dos modelos dentro de cada família de mercado e para as duas colecções era um esforço tremendo de cálculos. Assim optou-se por fazer uma análise ABC (Apêndice B) por quantidade para as duas colecções produzidas pela empresa permitindo-as agrupá-las em classes diferentes para identificar melhor as referências mais importantes para a empresa. Fez-se uma análise por quantidade e não por valor porque a análise por quantidade é mais importante neste trabalho do que o valor adquirido com a venda dos produtos pois as quantidades estão directamente ligadas ao fluxo produtivo e às suas perturbações e o valor está mais associado aos materiais. A análise ABC por quantidade agrupada por família identifica quais as referências mais representativas de cada família.

Pode verificar-se pela Tabela D- 10 que para a colecção 1 as famílias de mercado que contribuem com 80% da quantidade (anual) são as jardineiras, os fatos, os macacões e os calções, para a colecção 2 são os fatos, as jardineiras, os fatos de treino e os macacões. Nesta destacam-se os fatos com uma quantidade bastante elevada relativamente às restantes famílias.

**Tabela D- 10. Quantidades por família de mercado para cada colecção**

Colecção 1				Colecção 2			
Cod.	Des.	Quant.	% quant.	Cod.	Des.	Quant.	% quant.
015	Jardineira	26757	27	001	Fato	66017	44
001	Fato	25490	25	015	Jardineira	26170	17
002	Macacão	15894	16	030	Fato treino	22615	15
020	Calção	12605	12	002	Macacão	16500	11
030	Fato treino	6600	7	035	Camisola	8514	6
036	Casaco	5250	5	010	Conjunto	5670	4
035	Camisola	3060	3	025	Pijama	3338	2
040	T-shirt	2597	3	036	Casaco	1150	1
010	Conjunto	2083	2				
Total		100336	100	Total		149974	100

Existem algumas diferenças entre a colecção 1 e 2 que merecem alguma atenção, Tabela D- 10. Pode verificar-se que a colecção 2 apresenta as maiores quantidades das famílias mais representativas e uma família exclusiva (025) desta colecção. No entanto, na colecção 1 estão representadas 3 famílias importantes e comuns à colecção 2 e uma quarta família (020) exclusiva desta colecção que pelas quantidades que envolve também se destaca. Além desta, está ainda representada uma outra família (040) cujas quantidades não são tão significativas. Como a

coleção 2 apresenta uma maior concentração das referências, o estudo realizado vai se debruçar sobre esta coleção e fazendo uma análise ABC por famílias para encontrar as referências mais representativas.

A classe A das referências é constituída assim, por 40 referências da coleção 2 cujas quantidades agregadas para 6 meses por família de mercado pode ver-se na Tabela D- 11 (o número entre parêntesis indica quantas referências de cada família estão na amostra não incluindo nenhuma referência dos pijamas e dos casacos). A distribuição das quantidades por família nesta amostra de referências (40) representa as famílias aproximadamente com a mesma percentagem que na população (93 referências), excepto as famílias de menores quantidades (pijama e casaco).

**Tabela D- 11. Quantidades por família para as referências da classe A**

Código (n.º)	Descrição	Qtd.	% Qtd.
001 (16)	Fato	57644	48
015 (8)	Jardineira	22735	19
030 (14)	Fato treino	16825	14
002 (6)	Macacão	11353	10
035 (2)	Camisola	5667	5
010(2)	Conjunto de 2 peças	5068	4
025	Pijama	-----	0
036	Casaco	-----	0
Total		119292	100

Todas as famílias de mercado passam pelos 3 processos principais: corte, bordados e confecção, embora como já foi referido, apenas a confecção será estudada e nesta apenas as operações de costura e acabamento são analisadas para procurar similaridades de processamento. As operações de acabamento consistem na operação manual de remate e revista (Man), a operação de colocar molas (Mol) e a prensagem (Pr). Assim avançou-se as tarefas 1, 2 e 3 passando para a tarefa 4 cujo resultado apresenta-se na matriz da Tabela D- 12.

**Tabela D- 12. Matriz FMxOpG e Matriz FMxOpG arranjada**

	Costura					Acabamento				Costura					Acabamento		
	CC	PC	Cl	El	Mo	Man	Mol	Pr		CC	PC	Cl	El	Mo	Man	Mol	Pr
Fam. 01	1	1	1		1	1	1	1	Fam. 01	1	1	1		1	1	1	1
Fam. 15	1	1				1	1	1	Fam. 30s	1	1	1		1	1	1	1
Fam. 02	1	1			1	1		1	Fam. 10	1	1	1		1	1	1	1
Fam. 30s	1	1	1		1	1	1	1	Fam. 35	1	1	1		1	1	1	1
Fam. 30i	1	1		1		1		1	Fam. 15	1	1				1	1	1
Fam. 10	1	1	1		1	1	1	1	Fam. 02	1	1			1	1		1
Fam. 35	1	1	1		1	1	1	1	Fam. 30i	1	1		1		1		1

Através desta matriz consegue-se ver algumas similaridades em termos das operações genéricas necessárias para cada família podendo agregar-se as 7 famílias de mercado apenas em 4. No entanto, é importante seguir para a desagregação destas famílias nas referências (produtos compostos) que as constituem, i.e. para a tarefa 5. Na matriz RefxOpG o número “1” que significa que a família tem aquela operação genérica, é substituído por outro número que representa o número de operações de costura efectuadas pela máquina representada pela OpG, no caso de CC é a máquina de corte e cose. A desagregação das famílias em referências mostra existirem diferenças das OpG necessárias para cada referência dentro da mesma família. É com base nessa diferença que vão ser formadas as primeiras famílias de produção,

ignorando para já as operações de acabamento porque se repetem para quase todas as referências, Tabela D- 13.

**Tabela D- 13. Matriz RefxOpG e famílias de produção (FP)**

Op.G		CC	PC	CI	EI	Mo	Man	Mol	Pr		CC	PC	CI	EI	Mo
Operações		10	1	4	1	1	4	2	1		FP1				
Fam. 01 (16)	1550	7	0	0	0	0	3	2	1	01/1550	7	0	0	0	0
	1662	7	0	0	0	0	3	2	1	01/1662	7	0	0	0	0
	1695	7	0	0	0	0	3	2	1	01/1695	7	0	0	0	0
	1610	7	0	0	0	0	3	2	1	01/1610	7	0	0	0	0
	1600	7	0	0	0	0	3	2	1	01/1600	7	0	0	0	0
	1596	7	0	0	0	0	3	2	1	01/1596	7	0	0	0	0
	1656	7	0	0	0	0	3	2	1	01/1656	7	0	0	0	0
	1694	7	0	0	0	0	3	2	1	01/1694	7	0	0	0	0
	1510	6	1	2	0	0	3	2	1	01/1547	6	0	0	0	0
	1648	6	0	0	0	1	3	2	1	01/1625	6	0	0	0	0
	1651	8	1	2	0	0	3	2	1	15/1647	3	0	0	0	0
	1535	7	1	1	0	0	3	2	1	15/1537	3	0	0	0	0
	1528	7	1	1	0	0	3	2	1	15/1518	3	0	0	0	0
	1543	6	0	0	0	1	1	1	0	15/1549	3	0	0	0	0
	1547	6	0	0	0	0	3	2	1	15/1617	3	0	0	0	0
1625	6	0	0	0	0	2	2	1	15/1663	3	0	0	0	0	
										10/1653i	5	0	0	0	0
Fam. 30 (7)	1598s	4	1	0	0	0	2	1	1	<b>FP2</b>					
	9376s	4	1	0	0	0	2	1	1	01/1510	6	2	1	0	0
	1513s	5	1	1	0	0	3	2	1	01/1651	8	2	1	0	0
	1627s	5	2	0	0	1	2	2	1	01/1535	7	1	1	0	0
	1527s	5	1	0	0	0	1	2	1	01/1528	7	1	1	0	0
	1676s	4	0	0	0	1	2	2	1	30/1513s	5	1	1	0	0
	1670s	6	0	0	0	1	2	2	1	<b>FP3</b>					
Fam. 10	1653s	4	2	1	0	1	3	2	1	15/1525	3	1	0	0	0
	1653i	5	0	0	0	0	3	2	1	15/1532	3	1	0	0	0
Fam. 35	1523	5	1	0	0	1	3	2	1	02/1666	6	1	0	0	0
	1530	4	2	1	0	1	3	2	1	02/1597	6	1	0	0	0
Fam. 15 (8)	1647	3	0	0	0	0	2	2	1	02/1619	6	1	0	0	0
	1537	3	0	0	0	0	2	2	1	02/1697	6	1	0	0	0
	1518	3	0	0	0	0	2	2	1	02/1542	6	1	0	0	0
	1549	3	0	0	0	0	2	2	1	30/1598s	4	1	0	0	0
	1617	3	0	0	0	0	2	2	1	30/9376s	4	1	0	0	0
	1663	3	0	0	0	0	2	2	1	30/1527s	5	1	0	0	0
	1525	3	0	1	0	0	3	2	1	<b>FP4</b>					
	1532	3	0	1	0	0	3	2	1	30/1598i	3	1	0	1	0
Fam. 02 (6)	1666	6	1	0	0	0	1	0	1	30/9376i	3	1	0	1	0
	1597	6	1	0	0	0	1	0	1	30/1627i	3	1	0	1	0
	1619	6	1	0	0	0	1	0	1	30/1676i	3	1	0	1	0
	1697	6	1	0	0	0	1	0	1	30/1670i	3	1	0	1	0
									<b>FP5</b>						
										30/1513i	4	0	0	1	0
										30/1527i	5	0	0	1	0
									<b>FP6</b>						



	1542	6	1	0	0	0	1	0	1	01/1648	6	0	0	0	1
	1624	6	0	0	0	1	1	0	0	01/1543	6	0	0	0	1
										02/1624	6	0	0	0	1
Fam. 30 (7)	1598i	3	1	0	1	0	1	0	1	30/1670s	6	0	0	0	1
	9376i	3	1	0	1	0	1	0	1	30/1676s	6	0	0	0	1
	1627i	3	1	0	1	0	1	0	1	FP7					
	1676i	3	1	0	1	0	1	0	1	30/1627s	5	2	0	0	1
	1670i	3	1	0	1	0	1	0	1	35/1523	5	1	0	0	1
	1513i	4	0	0	1	0	1	0	1	FP8					
	1527i	5	0	0	1	0	1	0	1	10/1653s	4	2	1	0	1
										35/1530	4	2	1	0	1

Como quer a desagregação em produtos simples, neste caso, peças cortadas (que implica o corte que não é aqui estudado) quer a desagregação das operações genéricas em operações de costura não trazem complexidade adicional ao processo, assume-se ter-se encontrado as famílias de produção para esta fase.

O segundo passo neste procedimento (passo A21.2) é calcular o número de máquinas para as 8 famílias de produção encontradas no passo anterior. Neste passo, 4 tarefas são necessárias:

- 2.1. - consultar e contabilizar a replicação das OpG do plano operativo na matriz, introduzindo as OpG repetidas
- 2.2. - consiste em somar os “1” das colunas que se repetem (OpG repetidas) e reordenar as colunas (se necessário)
- 2.3. - calcula-se o número de máquinas necessárias (#)
- 2.4. - faz-se uma primeira afectação de máquinas às famílias

A Tabela D- 14 mostra esse cálculo, tendo sido realizadas as tarefas 1, 2 e 3.

**Tabela D- 14. Cálculo de máquinas para as famílias de produção**

Operações	Quant.	CC	# mcc	PC	# mpc	Cl	# mcl	El	# mel	Mo	#mmo
<b>FP1</b>											
01/1550	2175	2,97	0,11	0	0	0	0	0	0	0	0
01/1662	4693	2,97	0,24	0	0	0	0	0	0	0	0
01/1695	1500	2,97	0,08	0	0	0	0	0	0	0	0
01/1610	1600	2,97	0,08	0	0	0	0	0	0	0	0
01/1600	3900	2,97	0,20	0	0	0	0	0	0	0	0
01/1596	1500	2,97	0,08	0	0	0	0	0	0	0	0
01/1656	4796	2,97	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0
01/1694	9734	3,03	0,51	0	0	0	0	0	0	0	0
01/1547	1599	3,13	0,09	0	0	0	0	0	0	0	0
01/1625	1675	2,23	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0
15/1647	4073	1,37	0,10	0	0	0	0	0	0	0	0
15/1537	2290	1,36	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0
15/1518	1824	1,37	0,04	0	0	0	0	0	0	0	0
15/1549	7394	1,37	0,18	0	0	0	0	0	0	0	0
15/1617	1824	1,37	0,04	0	0	0	0	0	0	0	0
15/1663	1779	1,37	0,04	0	0	0	0	0	0	0	0
10/1653i	5068	1,68	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0
			2,31		0,00		0,00		0,00		0,00
			<b>3</b>		<b>0</b>		<b>0</b>		<b>0</b>		<b>0</b>

**FP2**

01/1510	5780	2,7	0,27	0,84	0,084	0,36	0,036	0	0	0	0
01/1651	5059	3,93	0,35	1,3	0,114	0,31	0,027	0	0	0	0
01/1535	1748	3,03	0,09	0,46	0,013	0,31	0,009	0	0	0	0
01/1528	3798	3,1	0,20	0,46	0,030	0,31	0,020	0	0	0	0
30/1513s	3117	2,18	0,12	0,52	0,028	0,38	0,020	0	0	0	0
			1,03		0,27		0,11		0,00		0,00
			<b>2</b>		<b>1</b>		<b>1</b>		<b>0</b>		<b>0</b>

**FP3**

15/1525	1500	1,18	0,031	0,42	0,010	0	0	0	0	0	0
15/1532	2051	1,19	0,042	0,42	0,014	0	0	0	0	0	0
02/1666	1483	2,81	0,072	1,6	0,041	0	0	0	0	0	0
02/1597	2448	5,54	0,235	1,6	0,068	0	0	0	0	0	0
02/1619	2081	5,54	0,200	1,6	0,057	0	0	0	0	0	0
02/1697	1920	2,87	0,096	2,06	0,069	0	0	0	0	0	0
02/1542	1920	2,83	0,094	1,58	0,052	0	0	0	0	0	0
30/1598s	4986	2,47	0,213	0,68	0,059	0	0	0	0	0	0
30/9376s	1494	2,47	0,064	0,68	0,018	0	0	0	0	0	0
30/1527s	1771	3,51	0,108	1,68	0,051	0	0	0	0	0	0
			1,16		0,44		0,00		0,00		0,00
			<b>2</b>		<b>1</b>		<b>0</b>		<b>0</b>		<b>0</b>

**FP4**

30/1598i	4986	0,94	0,081	2,4	0,208	0	0	0,29	0,025	0	0
30/9376i	1494	0,94	0,024	2,4	0,062	0	0	0,29	0,007	0	0
30/1627i	2000	0,94	0,032	2,4	0,083	0	0	0,29	0,010	0	0
30/1676i	1740	0,94	0,028	2,4	0,072	0	0	0,29	0,009	0	0
30/1670i	1717	0,86	0,026	0,41	0,012	0	0	0,29	0,009	0	0
			0,19		0,44		0,00		0,06		0,00
			<b>1</b>		<b>1</b>		<b>0</b>		<b>1</b>		<b>0</b>

**FP5**

30/1513i	3117	1,29	0,070	0	0	0	0	0,29	0,015	0	0
30/1527i	1771	2,5	0,077	0	0	0	0	0,34	0,010	0	0
			0,15		0,00		0,00		0,03		0,00
			<b>1</b>		<b>0</b>		<b>0</b>		<b>1</b>		<b>0</b>

**FP6**

01/1648	5087	2,53	0,22	0	0	0	0	0	0,07	0,006	
01/1543	3000	3,28	0,17	0	0	0	0	0	0,35	0,018	
02/1624	1501	3,05	0,08	0	0	0	0	0	0,35	0,009	
30/1670s	1717	2,61	0,08	0	0	0	0	0	0,07	0,002	
30/1676s	1740	1,73	0,05	0	0	0	0	0	0,07	0,002	
			0,60		0,00		0,00		0,00		0,37
			<b>1</b>		<b>0</b>		<b>0</b>		<b>0</b>		<b>1</b>

**FP7**

30/1627s	2000	2,49	0,09	1,16	0,040	0	0	0	0	0,51	0,018
35/1523	3620	1,88	0,12	0,67	0,042	0	0	0	0	0,27	0,016
			0,21		0,08		0,00		0,00		0,03
			<b>1</b>		<b>1</b>		<b>0</b>		<b>0</b>		<b>1</b>

**FP8**

10/1653s	5068	2,06	0,18	1,13	0,10	0,35	0,03	0	0	0,27	0,023
35/1530	2047	2,06	0,07	1,13	0,04	0,35	0,01	0	0	0,27	0,009

	0,25	0,14	0,04	0,00	0,03
	1	1	1	0	1

	CC	# mcc	PC	# mpc	Cl	# mcl	EI	# mel	Mo	#mmo
Total neces.		12		5		2		2		3
Disponíveis		47		13		7		3		1
Sobram		35		8		5		1		-2

A primeira afectação das máquinas às células (tarefa 4) é, neste caso, simples porque existem várias máquinas embora muitas sejam necessárias para as operações de preparação que não foram incluídas neste estudo e não farão parte das células que se vierem a formar. À primeira vista parece existir restrições à formação de células básicas apenas na produção das famílias FP6, FP7 e FP8 podendo estas adoptar uma configuração de células não básicas para partilha da máquina de mosquear (mmo) e adoptando as restantes configurações conceptuais de células básicas, como se representa na Figura D- 2.

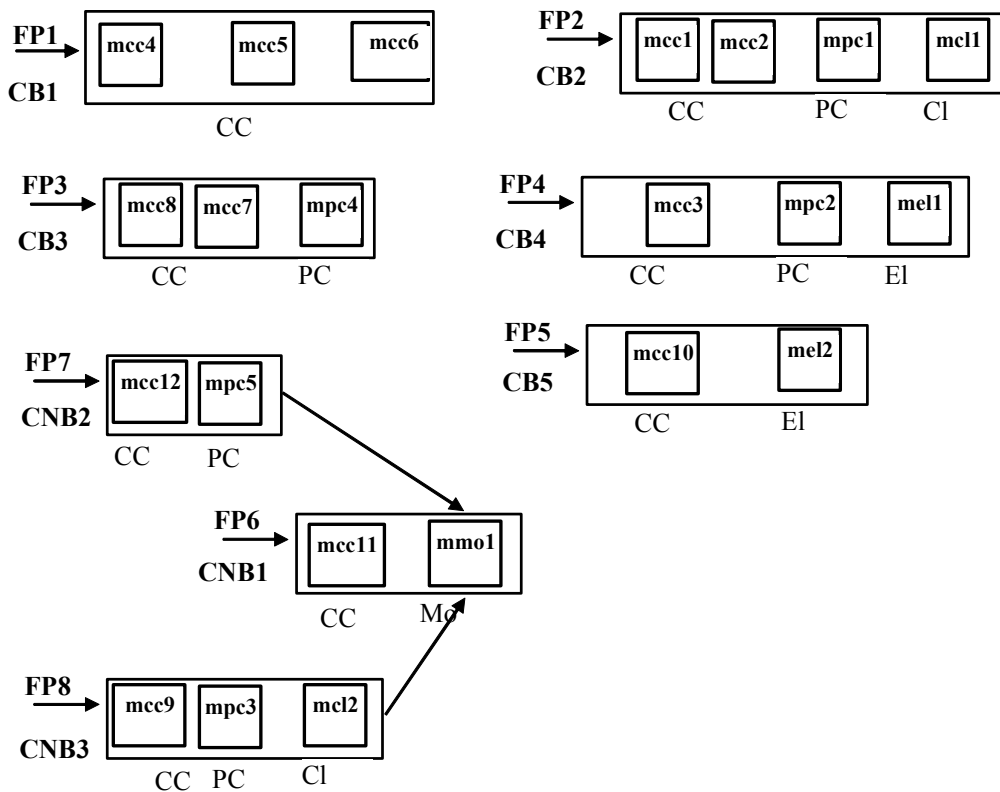


Figura D- 2. Configurações conceptuais das células

Afectou-se a máquina mmo à família FP6 porque esta tinha apenas necessidade de uma máquina além desta.

### D.3.2.2. Selecção de postos de trabalho (A22)

Como as máquinas requerem sempre o operador, os postos podem ser classificados de postos multirecurso. Adicionalmente às operações genéricas que deram origem às famílias formadas na actividade anterior tem-se as operações de acabamento. A operação de remate e revista é manual e deve fazer parte da célula, as outras requerem máquinas muito específicas. A máquina de pregar molas é necessária para

uma grande parte das referências produzidas nas células potenciais mas também para alguns produtos de ganga cuja produção é subcontratada. A prensagem é uma operação realizada para todas as referências. Assim não se consideram estas operações para introduzir na célula.

Nesta actividade também deve ser calculado o número de operadores. Atendendo ao tipo de postos que vão formar as células o número de operadores vai ser muito próximo do número de máquinas incluindo neste cálculo o tempo operatório da operação de revista e remate. No máximo serão necessários 14 operadores.

### D.3.3. Projecto Detalhado (A3)

Na fase do Projecto Detalhado são instanciadas as células conceptuais com base nos fluxos das famílias de produção das referências já criadas e que aqui podem ser refinadas e também nas células que se poderão formar na primeira actividade desta fase como resultado da desagregação das operações genéricas. É com base nesta instanciação e na instanciação dos postos de trabalho que se define a implantação intra e intercelular. Identificam-se, assim, nesta fase as seguintes actividades a realizar: formação de famílias de produtos - A31; instanciação das células conceptuais - A32; instanciação de postos de trabalho -A33; organização intracelular e controlo de cada célula -A34 - e, finalmente, a integração e coordenação do SPOP global e controlo do fluxo intercelular - A35.

#### D.3.3.1. Formação/refinamento de famílias de produtos compostos e/ou simples (A31)

Nesta actividade procura-se refinar as famílias de referências já formadas na actividade A21 e formar, se possível, outras famílias de produtos. Já foi referido que a desagregação das referências em produtos simples significa desagregá-las em peças cortadas que não faz sentido já que a única operação envolvida é o corte.

A desagregação das operações genéricas das famílias formadas na actividade A21 nas operações de processamento, neste caso, de costura pode ser observada na Tabela D- 15.

Tabela D- 15. Matriz RefxOpP

FPI	CC												PC		CI	EI	Mo	
	400	410	415	420	430	440	600	610	603	606	613	620	601	611	602	604	607	
01/1550	1	1		1	1	1	1	1										
01/1662	1	1		1	1	1	1	1										
01/1695	1	1		1	1	1	1	1										
01/1610	1	1		1	1	1	1	1										
01/1600	1	1		1	1	1	1	1										
01/1596	1	1		1	1	1	1	1										
01/1656	1	1		1	1	1	1	1										
01/1694	1	1		1	1	1	1	1										
01/1547		1		1	1	1	1	1										
01/1625	1			1	1	1	1	1										
15/1647				1	1	1												
15/1537				1	1	1												
15/1518				1	1	1												
15/1549				1	1	1												
15/1617				1	1	1												

15/1663				1	1	1											
10/1653i	1		1	1	1	1											
<b>FP2</b>																	
01/1510	1			1	1	1	1	1				1	1	1			
01/1651	1	1	1	1		1	1	1			1	1	1	1			
01/1535	1	1		1	1	1	1	1				1		1			
01/1528	1	1		1	1	1	1	1				1		1			
30/1513s	1			1			1	1			1	1		1			
<b>FP3</b>																	
15/1525				1	1		1					1					
15/1532				1	1		1					1					
02/1666	1	1		1	1		1	1				1					
02/1597	1	1		1	1		1	1				1					
02/1619	1	1		1	1		1	1				1					
02/1697	1	1		1	1		1	1				1					
02/1542	1	1		1	1		1	1				1					
30/1598s				1			1	1		1		1					
30/9376s				1			1	1		1		1					
30/1527s	1			1			1	1		1		1					
<b>FP4</b>																	
30/1598i				1	1				1				1		1		1
30/9376i				1	1				1				1		1		1
30/1627i				1	1				1				1		1		1
30/1676i				1	1				1				1		1		1
30/1670i				1	1				1				1		1		1
<b>FP5</b>																	
30/1513i				1	1		1			1							1
30/1527i				1	1		1			1		1					1
<b>FP6</b>																	
01/1648		1		1	1	1	1	1									1
01/1543	1	1		1		1	1	1									1
02/1624	1	1		1	1		1	1									1
30/1670s	1			1			1	1			1						1
30/1676s	1	1		1			1	1			1						1
<b>FP7</b>																	
30/1627s		1		1			1	1	1			1	1				1
35/1523	1	1		1			1	1				1					1
<b>FP8</b>																	
10/1653s	1	1		1				1				1	1	1			1
35/1530	1	1		1				1				1	1	1			1

A observação mais detalhada destas famílias permite verificar que existem algumas diferenças entre as referências em relação ao número de operações. Isto sugere que pode ser vantajoso separar estas famílias em famílias mais pequenas com maior similaridade entre as referências. Isto é recomendado quando a carga justifica a configuração de várias células para a mesma família de produção mas quando esta se torna muito pequena, as células não permanecem formadas o tempo suficiente para produzirem a taxas de produção normais, i.e. os efeitos de aprendizagem são perdidos. Neste caso o melhor a fazer é agregar famílias de produção em famílias maiores.

Neste estudo, dada a existência de cargas pequenas, Tabela D- 14, a divisão de famílias não é recomendável. Pelo contrário, a agregação de famílias deve ser tentada pelas razões atrás mencionadas. Tal exercício é possível dadas as similaridade fortes que existem entre as famílias de produção como se pode ver na Tabela D- 12. Assim possíveis agregações são a da FP2 com FP3; a da FP4 com FP5 e a da FP6, FP7 com FP8. Desta forma poder-se-ia chegar a 4 famílias, eliminando ainda a necessidade de partilha e fazendo apenas células básicas. A confirmação de serem estas boas agregações ou não é realizada na actividade seguinte onde os fluxos são analisados.

### D.3.3.2. Instanciação das células conceptuais (A32)

Como resultado da actividade anterior tem-se 4 famílias de produção a serem produzidas em 4 células básicas. Nesta actividade, de instanciação das células, procura-se encontrar a configuração operacional mais adequada, dependendo esta adequação fundamentalmente do fluxo de trabalho. Assim o fluxo é analisado usando as sequências operatórias das operações de costura se estas forem conclusivas senão usando os planos operatórios das operações genéricas.

O primeiro passo é recalcular o número de máquinas já que as famílias alteraram desde o cálculo inicial na actividade A21, Tabela D- 16.

**Tabela D- 16. Cálculo de máquinas para as 4 famílias de produção**

Operações	Quant.	CC	# mcc	PC	# mpc	CI	# mcl	El	# mel	Mo	#mmo
<b>FP1</b>											
01/1550	2175	2,97	0,11	0	0	0	0	0	0	0	0
01/1662	4693	2,97	0,24	0	0	0	0	0	0	0	0
01/1695	1500	2,97	0,08	0	0	0	0	0	0	0	0
01/1610	1600	2,97	0,08	0	0	0	0	0	0	0	0
01/1600	3900	2,97	0,20	0	0	0	0	0	0	0	0
01/1596	1500	2,97	0,08	0	0	0	0	0	0	0	0
01/1656	4796	2,97	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0
01/1694	9734	3,03	0,51	0	0	0	0	0	0	0	0
01/1547	1599	3,13	0,09	0	0	0	0	0	0	0	0
01/1625	1675	2,23	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0
15/1647	4073	1,37	0,10	0	0	0	0	0	0	0	0
15/1537	2290	1,36	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0
15/1518	1824	1,37	0,04	0	0	0	0	0	0	0	0
15/1549	7394	1,37	0,18	0	0	0	0	0	0	0	0
15/1617	1824	1,37	0,04	0	0	0	0	0	0	0	0
15/1663	1779	1,37	0,04	0	0	0	0	0	0	0	0
10/1653i	5068	1,68	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0
			2,31		0,00		0,00		0,00		0,00
			<b>3</b>		<b>0</b>		<b>0</b>		<b>0</b>		<b>0</b>
<b>FP2FP3</b>											
01/1510	5780	2,7	0,27	0,84	0,084	0,36	0,036	0	0	0	0
01/1651	5059	3,93	0,35	1,3	0,114	0,31	0,027	0	0	0	0
01/1535	1748	3,03	0,09	0,46	0,013	0,31	0,009	0	0	0	0
01/1528	3798	3,1	0,20	0,46	0,030	0,31	0,020	0	0	0	0
30/1513s	3117	2,18	0,12	0,52	0,028	0,38	0,020	0	0	0	0
15/1525	1500	1,18	0,031	0,42	0,010	0	0	0	0	0	0
15/1532	2051	1,19	0,042	0,42	0,014	0	0	0	0	0	0

02/1666	1483	2,81	0,072	1,6	0,041	0	0	0	0	0	0
02/1597	2448	5,54	0,235	1,6	0,068	0	0	0	0	0	0
02/1619	2081	5,54	0,200	1,6	0,057	0	0	0	0	0	0
02/1697	1920	2,87	0,096	2,06	0,069	0	0	0	0	0	0
02/1542	1920	2,83	0,094	1,58	0,052	0	0	0	0	0	0
30/1598s	4986	2,47	0,213	0,68	0,059	0	0	0	0	0	0
30/9376s	1494	2,47	0,064	0,68	0,018	0	0	0	0	0	0
30/1527s	1771	3,51	0,108	1,68	0,051	0	0	0	0	0	0
		2,19		0,71		0,11		0,00		0,00	
		<b>3</b>		<b>1</b>		<b>1</b>		<b>0</b>		<b>0</b>	

**FP4FP5**

30/1598i	4986	0,94	0,081	2,4	0,208	0	0	0,29	0,025	0	0
30/9376i	1494	0,94	0,024	2,4	0,062	0	0	0,29	0,007	0	0
30/1627i	2000	0,94	0,032	2,4	0,083	0	0	0,29	0,010	0	0
30/1676i	1740	0,94	0,028	2,4	0,072	0	0	0,29	0,009	0	0
30/1670i	1717	0,86	0,026	0,41	0,012	0	0	0,29	0,009	0	0
30/1513i	3117	1,29	0,070	0	0	0	0	0,29	0,015	0	0
30/1527i	1771	2,5	0,077	0	0	0	0	0,34	0,010	0	0
		0,34		0,44		0,00		0,09		0,00	
		<b>1</b>		<b>1</b>		<b>0</b>		<b>1</b>		<b>0</b>	

**FP6FP7FP8**

01/1648	5087	2,53	0,22	0	0	0	0	0	0,07	0,006	
01/1543	3000	3,28	0,17	0	0	0	0	0	0,35	0,018	
02/1624	1501	3,05	0,08	0	0	0	0	0	0,35	0,009	
30/1670s	1717	2,61	0,08	0	0	0	0	0	0,07	0,002	
30/1676s	1740	1,73	0,05	0	0	0	0	0	0,07	0,002	
30/1627s	2000	2,49	0,09	1,16	0,040	0	0	0	0,51	0,018	
35/1523	3620	1,88	0,12	0,67	0,042	0	0	0	0,27	0,016	
10/1653s	5068	2,06	0,18	1,13	0,10	0,35	0,03	0	0,27	0,023	
35/1530	2047	2,06	0,07	1,13	0,04	0,35	0,01	0	0,27	0,009	
		1,06		0,22		0,04		0,00		0,06	
		<b>2</b>		<b>1</b>		<b>1</b>		<b>0</b>		<b>1</b>	

	CC	# mcc	PC	# mpc	Cl	# mcl	El	# mel	Mo	#mmo
Total neces.		9		3		2		1		1
Disponíveis		47		13		7		3		1
Sobram		38		11		5		2		0

No segundo passo que consiste em identificar os fluxos intercelulares pode dizer-se que não há fluxos intercelulares sendo necessário definir os fluxos intracelulares (terceiro passo). A análise do fluxo das sequências das operações de costura poucas implicações tem no arranjo que vier a ser definido porque várias operações são realizadas no mesmo tipo de máquina tendo-se, quando muito, o fluxo repetitivo. É claro que a sequência pela qual as operações são executadas interessa mas para dar instruções aos operadores. Para a escolha da configuração operacional e, posteriormente, para a definição do arranjo são mais relevantes os planos operatórios das operações genéricas que para as famílias de produção formadas são os da Tabela D- 17.

**Tabela D- 17. Planos operatórios das famílias de produção**

FP1	CC	PC	CI	EI	Mo	Plano operatório das operações genéricas
01/1550	7	0	0	0	0	CC (7)
01/1662	7	0	0	0	0	CC (7)
01/1695	7	0	0	0	0	CC (7)
01/1610	7	0	0	0	0	CC (7)
01/1600	7	0	0	0	0	CC (7)
01/1596	7	0	0	0	0	CC (7)
01/1656	7	0	0	0	0	CC (7)
01/1694	7	0	0	0	0	CC (7)
01/1547	6	0	0	0	0	CC (6)
01/1625	6	0	0	0	0	CC (6)
15/1647	3	0	0	0	0	CC (3)
15/1537	3	0	0	0	0	CC (3)
15/1518	3	0	0	0	0	CC (3)
15/1549	3	0	0	0	0	CC (3)
15/1617	3	0	0	0	0	CC (3)
15/1663	3	0	0	0	0	CC (3)
10/1653i	5	0	0	0	0	CC (5)
<b>FP2FP3</b>						
01/1510	6	2	1	0	0	CC (6) → CI (1) → PC (2)
01/1651	8	2	1	0	0	CC (7) → CI (1) → PC (2) → CC (1)
01/1535	7	1	1	0	0	CC (7) → CI (1) → PC (1)
01/1528	7	1	1	0	0	CC (7) → CI (1) → PC (1)
30/1513s	5	1	1	0	0	CC (5) → CI (1) → PC (1)
15/1525	3	1	0	0	0	CC (3) → PC (1)
15/1532	3	1	0	0	0	CC (3) → PC (1)
02/1666	6	1	0	0	0	CC (6) → PC (1)
02/1597	6	1	0	0	0	CC (6) → PC (1)
02/1619	6	1	0	0	0	CC (6) → PC (1)
02/1697	6	1	0	0	0	CC (6) → PC (1)
02/1542	6	1	0	0	0	CC (6) → PC (1)
30/1598s	4	1	0	0	0	CC (2) → PC (1) → CC (2)
30/9376s	4	1	0	0	0	CC (2) → PC (1) → CC (2)
30/1527s	5	1	0	0	0	CC (5) → PC (1)
<b>FP4FP5</b>						
30/1598i	3	1	0	1	0	CC (2) → PC (1) → EI (1) → CC (1)
30/9376i	3	1	0	1	0	CC (2) → PC (1) → EI (1) → CC (1)
30/1627i	3	1	0	1	0	CC (2) → PC (1) → EI (1) → CC (1)
30/1676i	3	1	0	1	0	CC (2) → PC (1) → EI (1) → CC (1)
30/1670i	3	1	0	1	0	CC (2) → PC (1) → EI (1) → CC (1)
30/1513i	4	0	0	1	0	CC (3) → EI (1) → CC (1)
30/1527i	5	0	0	1	0	CC (4) → EI (1) → CC (1)
<b>FP6FP7FP8</b>						
01/1648	6	0	0	0	1	CC (6) → Mo (1)
01/1543	6	0	0	0	1	CC (6) → Mo (1)
02/1624	6	0	0	0	1	CC (6) → Mo (1)
30/1670s	6	0	0	0	1	CC (6) → Mo (1)
30/1676s	6	0	0	0	1	CC (6) → Mo (1)



30/1627s	5	2	0	0	1	CC (3)→PC(2) →Mo (1) →CC(2)
35/1523	5	1	0	0	1	CC (3)→PC(2) →Mo (1) →CC(2)
10/1653s	4	2	1	0	1	CC (4)→Cl(1) →PC(2) →Mo (1)
35/1530	4	2	1	0	1	CC (4)→Cl(1) →PC(2) →Mo (1)

Pela análise desta tabela verifica-se que as células básicas podem ser de posto único, de fluxo directo e com transposição e ainda células com fluxo inverso, se não for possível duplicar as máquinas de corte e cose (mcc). Para a FP1 é formada uma célula básica de posto único com 3 máquinas de corte e cose. A célula para a família FP2FP3 é uma célula de fluxo inverso sendo este provocado pela necessidade de uma ou mais máquinas CC no final da sequência de apenas 3 referências. Havendo várias máquinas disponíveis deste tipo o mais certo é esta poder ser duplicada eliminando assim esta necessidade. Para a família FP4FP5 é formada uma célula básica com fluxo directo e transposição de algumas referências à máquina PC. A família FP6FP7FP8 requer também uma célula de fluxo directo, com transposição e inverso no caso de 3 referências que também pode ser eliminado se colocarmos uma máquina de CC no final do arranjo.

Nesta célula ficará a única máquina de mosquear mas é importante dizer que a operação de mosquear também pode ser realizada por uma máquina de corte e cose desde que a esta se acople um aparelho designado de aparelho de mosquear. Quer isto dizer que caso a máquina de mosquear seja necessária para as operações de preparação as referências da família FP6FP7FP8 podem ter de ser distribuídas pelas outras famílias que com elas tenham mais semelhanças. Por exemplo, as 5 primeiras referências podiam ficar na família FP1 pois a sua sequência seria CC(7). Supondo que a máquina não é necessária não existem alterações a fazer às famílias de produção constituindo-se 4 células (A a D), Tabela D- 18, para as quais se torna necessário recalculer o número de máquinas para as ajustar na sequência, Tabela D- 19.

**Tabela D- 18. Células para as famílias de produção formadas**

Cel	Referências	Sequências
A	01/1550, 01/1662, 01/1695, 01/1610, 01/1600, 01/1694, 01/1596, 01/1656, 01/1547, 01/1625, 15/1647, 15/1537, 15/1518, 15/1549, 15/1663, 15/1617, 10/1653i	CC (3 a 7)
B	01/1510, 01/1535, 01/1528, 01/1651, 30/1513s, 15/1525, 15/1532, 02/1666, 02/1597, 02/1619, 02/1697, 02/1542, 30/1527s, 30/1598s, 30/9376s	CC (2 a 6)→Cl(1)→PC (1 a 2) →CC (1 a 2)
C	30/1598t, 30/9376t, 30/1627t, 30/1676t, 30/1670t, 30/1513t, 30/1527t	CC (2 a 4)→PC (1)→El (1)→CC (1)
D	01/1543, 01/1648, 30/1676s, 30/1670s, 02/1624, 30/1627s, 35/1523, 10/1653s, 35/1530	CC(3 a 6)→Cl(1)→PC (2) →Mo(1) →CC (2)

**Tabela D- 19. Recálculo de máquinas para as células**

Operações	Quant.	CC	# mcc	PC	# mpc	Cl	# mcl	El	# mel	Mo	#mmo	CC	# mcc
<b>FP2FP3 - B</b>													
01/1510	5780	2,7	0,270	0,84	0,084	0,36	0,036	0	0	0	0	0	0
<b>01/1651</b>	<b>5059</b>	<b>3,78</b>	<b>0,331</b>	<b>1,3</b>	<b>0,114</b>	<b>0,31</b>	<b>0,027</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,15</b>	<b>0,013</b>
01/1535	1748	3,03	0,090	0,46	0,013	0,31	0,009	0	0	0	0	0	0
01/1528	3798	3,1	0,200	0,46	0,030	0,31	0,020	0	0	0	0	0	0
30/1513s	3117	2,18	0,120	0,52	0,028	0,38	0,020	0	0	0	0	0	0

15/1525	1500	1,18	0,031	0,42	0,010	0	0	0	0	0	0	0	0
15/1532	2051	1,19	0,042	0,42	0,014	0	0	0	0	0	0	0	0
02/1666	1483	2,81	0,072	1,6	0,041	0	0	0	0	0	0	0	0
02/1597	2448	5,54	0,235	1,6	0,068	0	0	0	0	0	0	0	0
02/1619	2081	5,54	0,200	1,6	0,057	0	0	0	0	0	0	0	0
02/1697	1920	2,87	0,096	2,06	0,069	0	0	0	0	0	0	0	0
02/1542	1920	2,83	0,094	1,58	0,052	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>30/1598s</b>	<b>4986</b>	<b>1,25</b>	<b>0,109</b>	<b>0,68</b>	<b>0,059</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1,22</b>	<b>0,106</b>
<b>30/9376s</b>	<b>1494</b>	<b>1,25</b>	<b>0,032</b>	<b>0,68</b>	<b>0,018</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1,22</b>	<b>0,032</b>
30/1527s	1771	3,51	0,108	1,68	0,051	0	0	0	0	0	0	0	0
			2,04		0,71		0,11		0,00		0,00		0,151
			<b>3</b>		<b>1</b>		<b>1</b>		<b>0</b>		<b>0</b>		<b>1</b>

**FP4FP5 - C**

30/1598i	4986	0,76	0,12	2,4	0,40	0	0	0,29	0,03	0	0	0,18	0,028
30/9376i	1494	0,76	0,04	2,4	0,12	0	0	0,29	0,01	0	0	0,18	0,008
30/1627i	2000	0,76	0,05	2,4	0,16	0	0	0,29	0,01	0	0	0,18	0,011
30/1676i	1740	0,76	0,04	2,4	0,14	0	0	0,29	0,01	0	0	0,18	0,010
30/1670i	1717	0,76	0,04	0,41	0,02	0	0	0,29	0,01	0	0	0,18	0,010
30/1513i	3117	0,76	0,07	0	0,00	0	0	0,29	0,02	0	0	0,18	0,018
30/1527i	1771	0,7	0,04	0	0,00	0	0	0,34	0,01	0	0	0,24	0,013
			0,40		0,84		0,00		0,10		0,00		0,10
			<b>1</b>		<b>1</b>		<b>0</b>		<b>1</b>		<b>0</b>		<b>1</b>

**FP6FP7FP8 - D**

01/1648	5087	2,53	0,22	0	0	0	0	0	0,07	0,006	0	0	0
01/1543	3000	3,28	0,17	0	0	0	0	0	0,35	0,018	0	0	0
02/1624	1501	3,05	0,08	0	0	0	0	0	0,35	0,009	0	0	0
30/1670s	1717	2,61	0,08	0	0	0	0	0	0,07	0,002	0	0	0
30/1676s	1740	1,73	0,05	0	0	0	0	0	0,07	0,002	0	0	0
<b>30/1627s</b>	<b>2000</b>	<b>2,11</b>	<b>0,07</b>	<b>1,16</b>	<b>0,040</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,51</b>	<b>0,018</b>	<b>0,38</b>	<b>0,013</b>
<b>35/1523</b>	<b>3620</b>	<b>1,42</b>	<b>0,09</b>	<b>0,67</b>	<b>0,042</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,27</b>	<b>0,016</b>	<b>0,46</b>	<b>0,029</b>
10/1653s	5068	2,06	0,18	1,13	0,10	0,35	0,03	0	0	0,27	0,023	0	0
35/1530	2047	2,06	0,07	1,13	0,04	0,35	0,01	0	0	0,27	0,009	0	0
			1,02		0,22		0,04		0,00		0,06		0,042
			<b>2</b>		<b>1</b>		<b>1</b>		<b>0</b>		<b>1</b>		<b>1</b>

	CC	# mcc	PC	# mpc	Cl	# mcl	El	# mel	Mo	#mmo	CC	# mcc
Total neces.		9		3		2		1		1		3
Disponíveis		47		13		7		3		1		38
Sobram		38		11		5		2		0		35

A Tabela D- 20 resume o número e tipo de máquinas por célula. O número de máquinas é substancialmente mais baixo do que o disponível. Existem várias razões para isto acontecer. Primeira razão é que apenas 80% da produção está a ser considerada, a segunda é porque existem outras operações que não estão a ser consideradas como as operações de preparação. O excesso de máquinas pode também estar ligado ao facto da empresa ter decidido recorrer à subcontratação e, finalmente, pode também dever-se à economia de máquinas resultante da aplicação da metodologia.

**Tabela D- 20. Máquinas para as células**

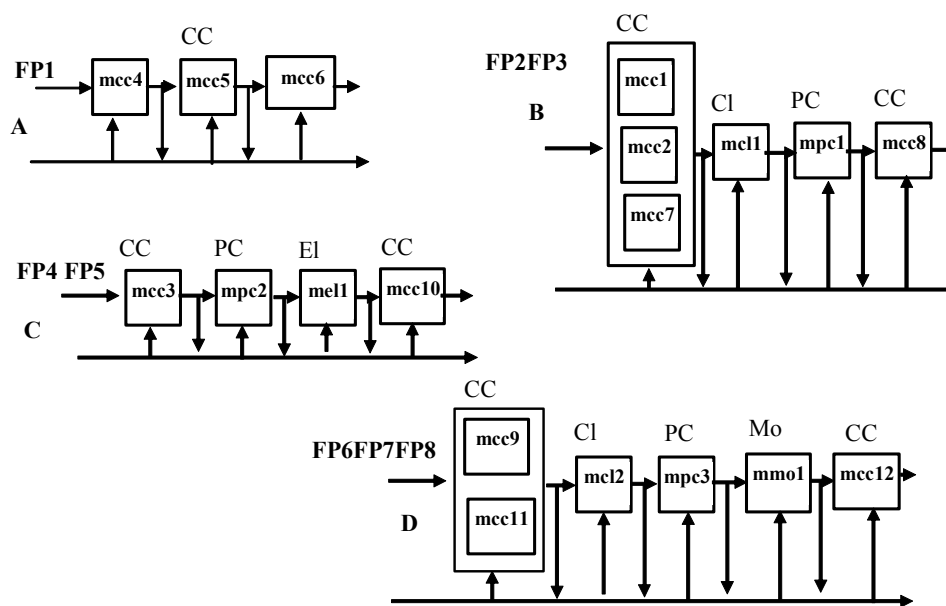
Célula	mcc	mpc	mcl	mel	mmo	Total
A	3	0	0	0	0	3
B	4	1	1	0	0	6
C	2	1	0	1	0	4
D	3	1	1	0	1	6
Total	12	3	2	1	1	19

Finalmente, nesta actividade selecciona-se a configuração operacional mais adequada. Como todas as células são básicas qualquer configuração pode ser seleccionada mas a Tabela 37 pode dar uma ajuda na selecção desta. De acordo com a Tabela D- 21 a configuração mais adequada é a CJIT embora a CQRM esteja muito próxima desta, o que não é de estranhar já que as suas diferenças não são muito acentuadas.

**Tabela D- 21. Selecção da configuração operacional**

Factores de avaliação	Peso	CJIT		CQRM		CPF		VC	
Fluxos directos	10	5	50	4	40	2	20	1	10
Taxa de produção	5	4	20	3	15	3	15	2	10
Variedade de produtos	7	4	28	4	28	3	21	5	35
Manuseamento manual	5	5	25	4	20	2	10	3	15
Economias de tempos de espera	7	4	28	3	21	3	21	3	21
Tempos de preparação	7	5	35	2	14	3	21	1	7
Envolvimento dos operadores	10	5	50	4	40	2	20	3	30
Polivalência	9	5	45	4	45	2	18	1	9
Facilidade de reconfiguração	9	4	36	3	27	2	18	5	45
Transferência unitária de peças entre postos	6	4	24	3	18	4	24	2	12
Automatização	4	2	8	2	8	5	20	2	8
Total			339		276		208		202

Portanto escolhida a configuração CJIT pela predominância implícita dos fluxos directos e fluxos com transposição dos postos, a instanciação das células conceptuais pode fazer-se pela representação das células na Figura D- 3.



**Figura D- 3. Células conceptuais instanciadas**

Na actividade A34 será definido o arranjo mais adequado para estas células.

### D.3.3.3. Instanciação dos postos de trabalho (A33)

Definidas as células e as máquinas, a afectação dos operadores a estas é realizada nesta actividade. Esta afectação deve ter em consideração as competências dos operadores e modos operatórios das células. O primeiro passo é calcular o número de operadores para cada célula que tinha já sido estimado na actividade A22, incluindo nas operações a realizar a operação de remate e revista. Assim o número de operadores é calculado atendendo a esta carga adicional e supondo uma eficiência de 90% e apresenta-se na Tabela D- 22.

**Tabela D- 22. Número de operadores por célula**

Célula	Carga	Número de operadores
Célula A	178680	3,45 $\approx$ 4
Célula B	173625	3,35 $\approx$ 4
Célula C	46015	0,89 $\approx$ 1
Célula D	82590	1,59 $\approx$ 2
Total	480911	11

O segundo passo desta actividade consiste em fazer o balanceamento das células. Das 4 células formadas, 3 vão produzir referências diferentes que podem ser produzidas continuamente até acabar ou misturadas durante a produção. Isto relaciona-se com potenciais datas de entrega e dimensão do lote. Assim, por exemplo, se um fluxo contínuo de referências de diferentes famílias de mercado é requerido devido a datas de entrega, mudanças frequentes são necessárias na célula. Isto pode ser visto como contributo para a perda de eficiência. No entanto se a natureza do processamento não mudar nenhuma perda tem lugar. Além disso, se todas as encomendas são entregues apenas no fim do período de produção, como o são neste estudo, não é necessário fazer alterações até que a quantidade total da referência em produção termine. Neste caso, pode fazer-se um balanceamento multi-modelo das células e sempre que se passar de uma referência de uma família de mercado para outra, pequenos ajustes são realizados.

Para o balanceamento são necessárias as operações de processamento e os suas durações. Para a célula A e B são necessários 5 postos de trabalho, na C um posto de trabalho e na D 4 postos de trabalho como calculado nas Tabela D- 23, Tabela D- 24, Tabela D- 25, Tabela D- 26, respectivamente.

**Tabela D- 23. Balanceamento para a célula A (TC = 1)**

N.º	Cód.	Designação	Dur.	Máq.	n.º	Dur.	Dur. Ac	Posto	Efic.
1	400	Coser ombros	0,29	mcc	1	0,29			
2	410	Coser mangas	0,40	mcc	2	0,40	0,69	1	0,69
3	420	Fechar lados (+1/2)	0,70	mcc	3	0,70			
4	415	Emendar carcela ou colete	0,40	mcc	5	0,30	1,00	2	1
5	430	Fechar entre pernas	0,30	mcc	4	0,40			
6	440	Coser patas	0,44	mcc	6	0,44	0,84	3	0,84
7	600	Coser punhos	0,38	mcc	7	0,38			
8	610	Coser gola ou capucho + etiqueta	0,46	mcc	8	0,46	0,84	4	0,84
9	800	Rematar e revistar	0,78	man	9	0,78	0,78	5	0,78

**Tabela D- 24. Balanceamento para a célula B (TC = 1,40)**

N.º	Cód.	Designação	Dur.	Máq.	n.º	Dur.	Dur. Ac	Posto	Efic.
1	400	Coser ombros	0,29	mcc	1	0,29			
2	410	Coser mangas	0,40	mcc	2	0,4			
3	420	Fechar lados	0,55	mcc	3	0,55	1,24	1	0,89
4	415	Emendar carcela ou colete	0,30	mcc	4	0,3			
5	430	Fechar entre pernas	0,30	mcc	5	0,3			
6	440	Coser patas	0,52	mcc	6	0,52	1,12	2	0,80
7	600	Coser punhos	0,38	mcc	7	0,38			
8	610	Coser gola ou capucho + etiqueta	0,46	mcc	8	0,46			
9	602	Meter viés decote ou ...	0,32	mcl	9	0,32	1,16	3	0,83
10	611	Pregar laços ou fitas	0,61	mpc	10	0,61			
11	601	Cravar viés decote ou coser alças	0,42	mpc	11	0,42	1,03	4	0,74
12	620	Passar ponto pontas ...	0,15	mcc	12	0,15	1,18	4	0,84
13	800	Rematar e revistar	0,72	man	13	0,72	0,72	5	0,51

**Tabela D- 25. Balanceamento para a célula C (TC = 3,4)**

N.º	Cód.	Designação	Dur.	Máq.	n.º	Dur.	Dur. Ac	Posto	Efic.
1	420	Fechar 1 lado + ½	0,57	mcc	1	0,57			
2	430	Fechar entre pernas	0,29	mcc	2	0,29			
3	600	Coser punhos	0,4	mcc	3	0,4			
4	620	Passar ponto pontas	0,3	mcc	4	0,3			
5	604	Meter elástico cinta	0,3	mel	5	0,3			
6	606	Fechar elástico cinta	0,19	mcc	6	0,19			
7	800	Rematar e revistar	0,48	man	7	0,48	2,53	1	0,74

**Tabela D- 26. Balanceamento para a célula D (TC = 2,2)**

N.º	Cód.	Designação	Dur.	Máq.	n.º	Dur.	Dur. Ac	Posto	Efic.
1	400	Coser ombros	0,29	mcc	1	0,29			
2	410	Coser mangas	0,40	mcc	2	0,40			
3	420	Fechar lados	0,55	mcc	3	0,55			
4	430	Fechar entre pernas	0,30	mcc	4	0,30			
5	440	Coser patas	0,52	mcc	5	0,52	2,06	1	0,92
6	600	Coser punhos	0,38	mcc	6	0,38			
7	602	Meter viés decote ou ...	0,32	mcl	7	0,32			
8	611	Pregar laços ou fitas	0,61	mpc	8	0,61			
9	601	Cravar viés decote ou coser alças	0,42	mpc	9	0,42	1,73	2	0,77
10	603	Coser fecho	1,69	mpc	10	1,69			
11	607	Mosquear fecho, gola ou bainha	0,21	mno	11	0,21			
12	620	Passar ponto pontas ...	0,15	mcc	12	0,15	2,05	3	0,92
13	610	Coser gola ou capucho + etiqueta	0,46	mcc	13	0,46			
14	800	Rematar e revistar	0,72	man	14	0,72	1,18	4	0,53

Com excepção da célula A, as células requerem menos operadoras que máquinas indicando a necessidade de operadoras polivalentes e portanto a afectação das

operadoras aos postos deve ter isto em conta. Esta afectação é o último passo desta actividade. A disponibilidade limitada de informação sobre as operadoras não permite um maior detalhe sobre as competências destas relativamente ao desempenho com que executam estas operações genéricas. Apesar da falta de informação mais detalhada vai supor-se que as operadoras que sabem (“X”) desempenham a 100% e as que sabem pouco (“P”), isto é, executam com dificuldade, desempenham a 50%. Verifica-se na Tabela D- 27 que, em geral, há pouca polivalência das operárias.

**Tabela D- 27. Competências dos operadoras nas operações genéricas**

Operadoras	CC	PC	Cl	El	Mo
Oper1	X				
Oper2	X				
Oper3	X				
Oper4	X		X		
Oper5	X				
Oper6	X	X			
Oper7	X	X			
Oper8	X	P			
Oper9	X	P			
Oper10	X		X		
Oper11		X			
Oper12	X				
Oper13	X				
Oper14	X				
Oper15	X				
Oper16	X		X		
Oper17	X				
Oper18	X				
Oper19	P	X			
Oper20		X			
Oper21		X			
Oper22		X			
Oper23	P	P	X		
Oper24	P	X			
Oper25	P		X		
Oper26	X		P		X
Oper27	X				
Oper28	X		P		X
Oper29	X				
Oper30	X				
Oper31	X				
Oper32	X				
Oper33	X				
Oper34	X				
Oper35	X				
Oper36	X				
Oper37	X				
Oper38	X				
Oper39	X				
Oper40	X				
Oper41	X				
Oper42	X				
Oper43	X				
Oper44	X				
Oper45	X				
Oper46	X				
Oper47	X		X		

A atribuição de uma informação quantitativa em vez de apenas qualitativa permitiria classificar as operadoras de acordo com as suas competências e capacidades. Esta classificação seria a base para a afectação das operadoras às tarefas, podendo atribuir-se às operadoras mais lentas postos com menor conteúdo de trabalho, e para promover um plano de formação. Os critérios a considerar na classificação podiam

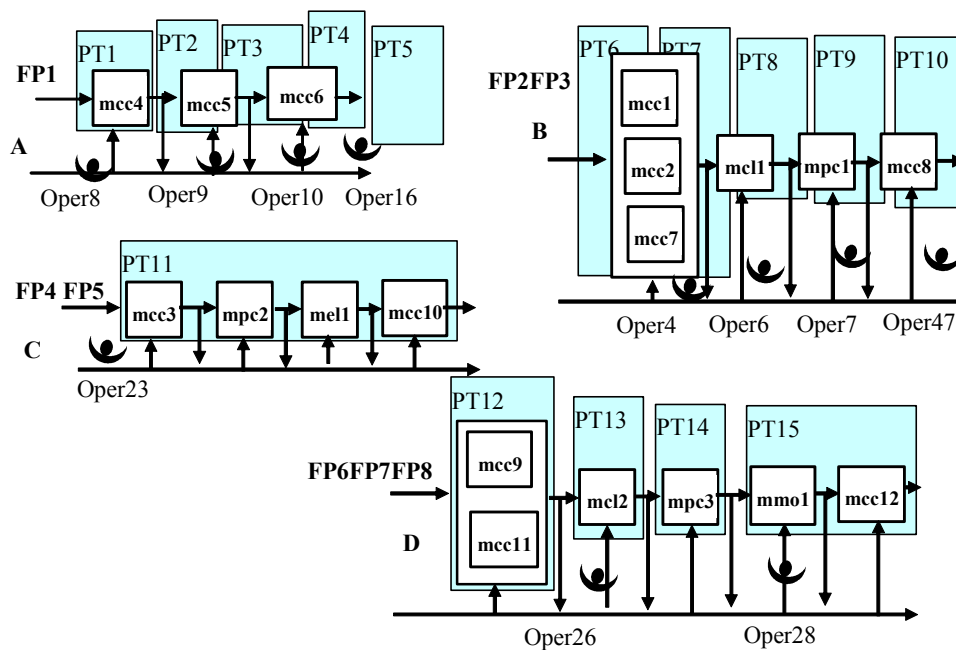
ser vários como a capacidade técnica individual e outros relacionados com a produtividade e qualidade.

Como só são necessários 11 operadoras faz sentido seleccionar as que fazem mais operações, i.e., os mais polyvalentes, Tabela D- 28.

**Tabela D- 28. Operadoras seleccionadas**

	Operadoras	CC	PC	CI	EI	Mo	Célula
1.	Oper4	X		X			B
2.	Oper6	X	X				B
3.	Oper7	X	X				B
4.	Oper8	X	P				A
5.	Oper9	X	P				A
6.	Oper10	X		X			A
7.	Oper16	X		X			A
8.	Oper23	P	P	X	X		C
9.	Oper26	X		P		X	D
10.	Oper28	X		P		X	D
11.	Oper47	X		X	X		B

A afectação destas operadoras às células, Figura D- 4, permite verificar a necessidade de dar formação a, pelo menos, uma operadora, a operadora da célula C (Oper23) nas operações de CC e de PC. A alternativa para esta célula seria colocar a Oper47 mas também implicaria dar formação na operação de PC. Existem várias outras alternativas mas a custos de formação mais dispendiosos. Na célula D, ambas operadoras precisavam de ter formação na máquina PC e na máquina de CI.



**Figura D- 4. Afectação das operadoras às células e postos**

Os postos de trabalho em causa neste tipo de empresa são na sua maioria postos de trabalho com processadores multirecursos (UMU) pois todas as máquinas intervenientes necessitam do operador para executarem as operações do princípio ao fim mas também existem postos multifunção em que apenas o operador intervém fazendo as operações de remate e revista (UUM), postos híbridos multifunção e multirecurso (UMM) e postos paralelo, multifunção e multirecurso (MMM), Tabela D- 29.

Tabela D- 29. Postos de trabalho instanciados

Configurações dos PT		Processadores	Recursos	Funções
PT1	UMU	Único	Múltiplo	Única
PT2	UMU	Único	Múltiplo	Única
PT3	UMU	Único	Múltiplo	Única
PT4	UMM	Único	Múltiplo	Múltipla
PT5	UUM	Único	Único	Múltipla
PT6	UMU	Único	Múltiplo	Única
PT7	UMU	Único	Múltiplo	Única
PT8	UMU	Único	Múltiplo	Única
PT9	UMM	Único	Múltiplo	Múltipla
PT10	UUM	Único	Único	Múltipla
PT11	MMM	Múltiplo	Múltiplo	Múltipla
PT12	MMM	Múltiplo	Múltiplo	Múltipla
PT13	UMM	Único	Múltiplo	Múltipla
PT14	UMM	Único	Múltiplo	Múltipla
PT15	UMM	Único	Múltiplo	Múltipla

Com a afectação das operadoras termina esta actividade de projecto, embora na próxima actividade ainda se discuta os modos operatórios destas operadoras.

#### D.3.3.4. Organização intracelular e controlo de cada célula (A34)

Embora as configurações conceptuais escolhidas restringem os arranjos que podem ser feitos, existe ainda a necessidade de definir detalhadamente a organização e controlo intracelular. Isto depende dos modos operatórios seleccionados para cada célula. Estes modos influenciam a afectação do trabalho a cada operador, incluindo tarefas a serem partilhadas, assim como o arranjo físico das células e o movimento de materiais dentro da célula. Estabelecido o arranjo das células, outro aspecto importante é o lançamento e sequenciação das referências dentro da célula. Isto é dependente do objectivo de desempenho pretendido.

O primeiro passo desta actividade é, assim, definir a implantação intracelular. A configuração de CJIT seleccionada para as células está normalmente associada ao arranjo em U que é considerado um arranjo eficiente para criar flexibilidade, oferecendo vantagens como a de ter um operador a controlar a entrada e saída da célula e a partilha de tarefas por operadoras adjacentes e não adjacentes. Um possível arranjo para as células é o da Figura D- 5 com a introdução de mesas de apoio que servem como buffers e para fazer o remate e revista das referências.

O segundo passo é a selecção do modo operatório mais adequado para o movimento das operadoras. A natureza e quantidade de produção, as máquinas, as tarefas, operadores e competências assim como tipo de fluxo de trabalho são importantes para tomar decisões sobre os modos operatórios. Nas células o fluxo é directo com transposição e as tarefas são relativamente simples. Uma célula tem um operador e as outras têm 2 e 4 operadores. Relativamente ao número de operadores/máquinas as células são todas diferentes pelo que o modo mais adequado para uma pode não ser o modo mais adequado para outra. No entanto, verifica-se que para a maioria de células são necessárias pessoas aptas a fazer qualquer operação dentro da célula, isto é, polivalentes. Esta polivalência pode ser conseguida procedendo a uma rotação periódica no interior da célula, isto é trocar a posição das operadoras umas com outras de forma a que todas fiquem aptas a trabalhar em todas as posições.



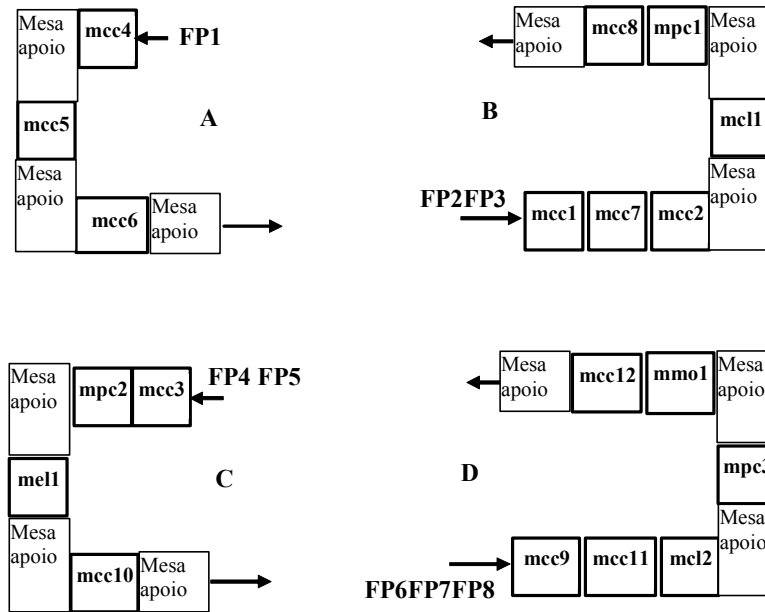


Figura D- 5. Arranjo intracelular das células

Ao mesmo tempo é importante explorar o potencial de uma equipa de trabalho. Isto significa que os modos operatórios mais aconselháveis poderão ser o TSS e o *working balance*. Ambos incentivam a uma certa autonomia e responsabilidade pelo trabalho dentro da célula, pelo que as operadoras têm de entender que a produtividade é medida no grupo e não individualmente para que assim se interajudem. A formação que as operadoras necessitam pode ser dada nos períodos de mais baixa produção, não interferindo assim na produção planeada. Dada a necessidade de mudanças frequentes nas referências produzidas dentro da célula, é necessário alguma adaptação para fazer o balanceamento das tarefas. Isto pode ser resolvido através da partilha de tarefas, ajudada pela existência de buffers entre os postos como as mesas de apoio representadas na Figura D- 5.

A célula A tem mais operadores (4) do que máquinas (3) e têm ainda mais postos (5) que equivale ao conteúdo de trabalho de operações manuais. Assim para esta célula talvez o mais adequado seja o modo *working balance* permitindo que a operadora do posto 1 faça também as operações do posto 5 mas ajudada pelas operadoras dos postos 3 e 4 que têm alguma folga.

A célula B tem mais máquinas (6) que operadores (4) podendo adoptar-se para esta célula o modo TSS que permite às operadoras partilharem os processos e passarem o trabalho entre elas, permitindo-lhes desenvolverem padrões de trabalho.

A existência de um só operador na célula C implica a escolha de uma operadora que saiba trabalhar bem nas 4 máquinas da célula. Para a célula D e como são necessários 2 operadores o modo *rabbit chase* também pode ser equacionado exigindo que ambos desempenhem bem as operações da célula, e portanto formação nas máquinas de PC e CI. Os percursos dos operadores dentro das células estão representados na Figura D- 6.

O terceiro passo é sequenciar e lançar os produtos individualmente ou em lote. Neste caso deve ser estabelecido a sequenciação das referências pertencentes a uma mesma família de mercado mas também as diferentes famílias de mercado dentro de uma família de produção. Isto pode ser baseado na redução de tempo de preparação da célula e na data de entrega das famílias de mercado. Neste caso a data de entrega é a

mesma para todas as famílias de mercado, i.e., no fim do período de produção portanto não há necessidade de misturar referências, produzindo continuamente a mesma referência até que a quantidade a produzir termine. Desta forma também o tempo de preparação é reduzido assim como a perda da eficiência que resultaria da mudança constante de referência.

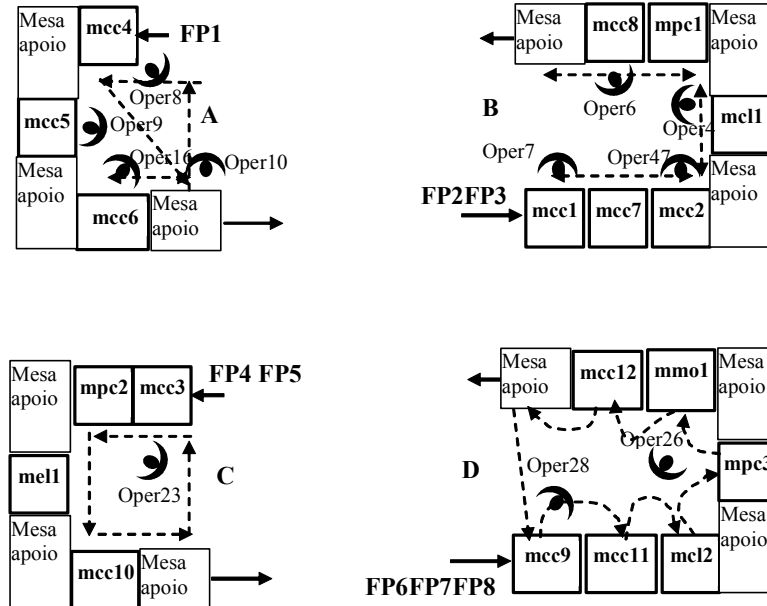


Figura D- 6. Modos operatórios dos operadores dentro das células

A representação das famílias e quantidades a produzir num diagrama de Gantt permite mostrar o tempo de percurso para cada família de mercado. Uma possível solução é a da Figura D- 7, em que o tempo de percurso máximo é 96 dias para a produção da família de mercado 30i, i.e., as calças do fato de treino. Aplicando a regra SPT a estas famílias em cada célula reduz-se o tempo de percurso médio o que pode ser vantajoso se os custos de posse de stock forem elevados, Figura D- 8.

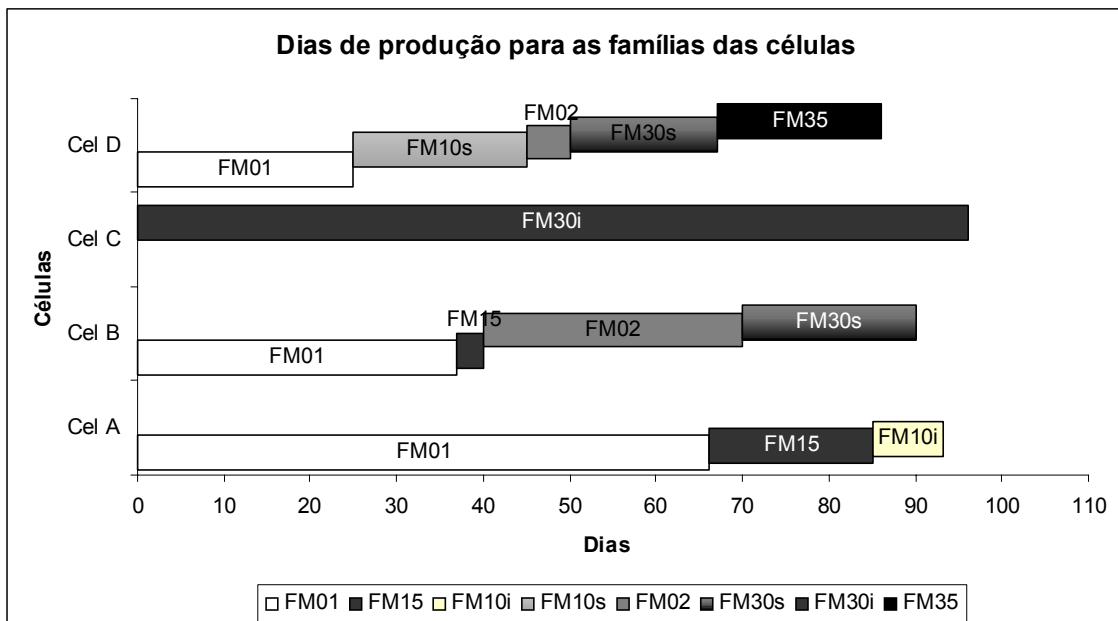


Figura D- 7. Sequenciação das famílias de mercado nas células

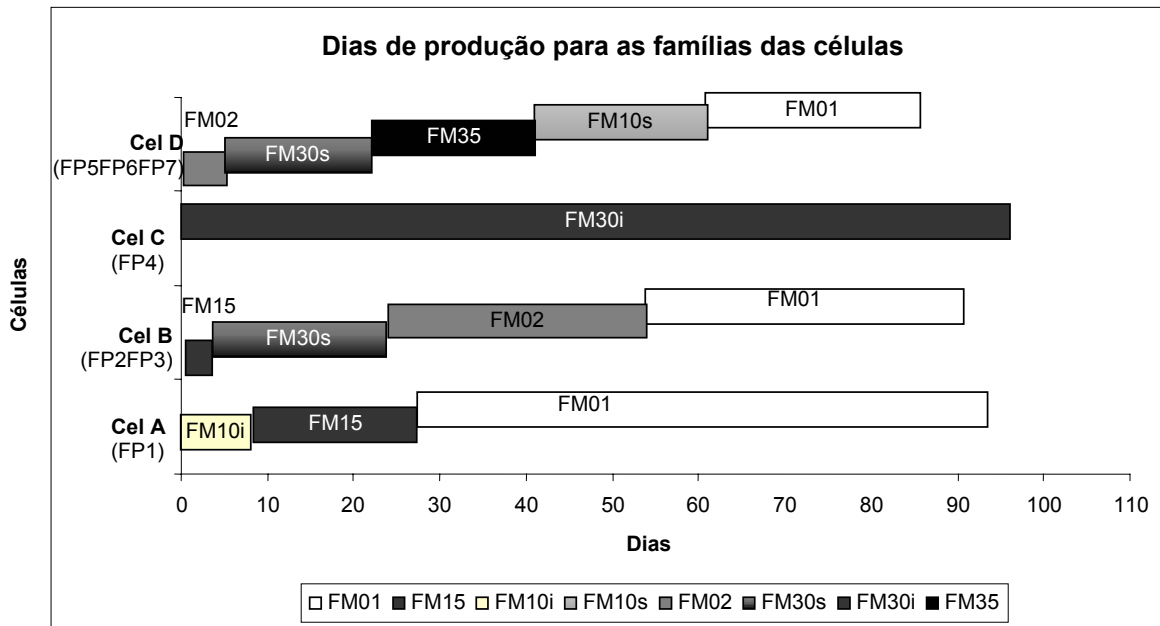


Figura D- 8. Sequenciação das famílias de mercado com minimização do tempo de percurso médio

### D.3.3.5. Integração e coordenação do SPOP global e controlo do fluxo intercelular (A35)

As tarefas a realizar nesta actividade estão relacionadas com o arranjo intercelular das células e com a coordenação das várias células. Como não existe partilha entre células o arranjo intercelular pode basear-se apenas na facilidade de manuseamento e transporte das peças. Assim um arranjo possível pode ser o da Figura D- 9 onde as peças cortadas são alimentadas pelo exterior, tendo sido necessário inverter os fluxos intracelulares nas células A e C.

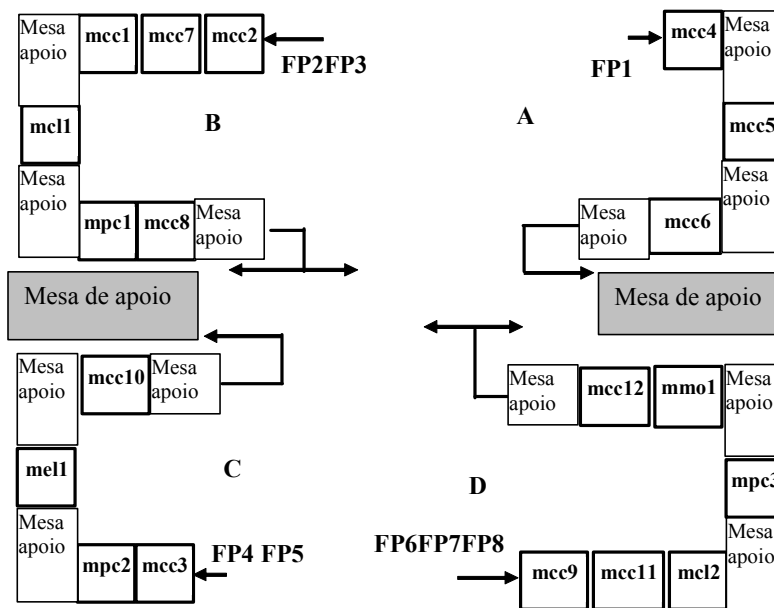


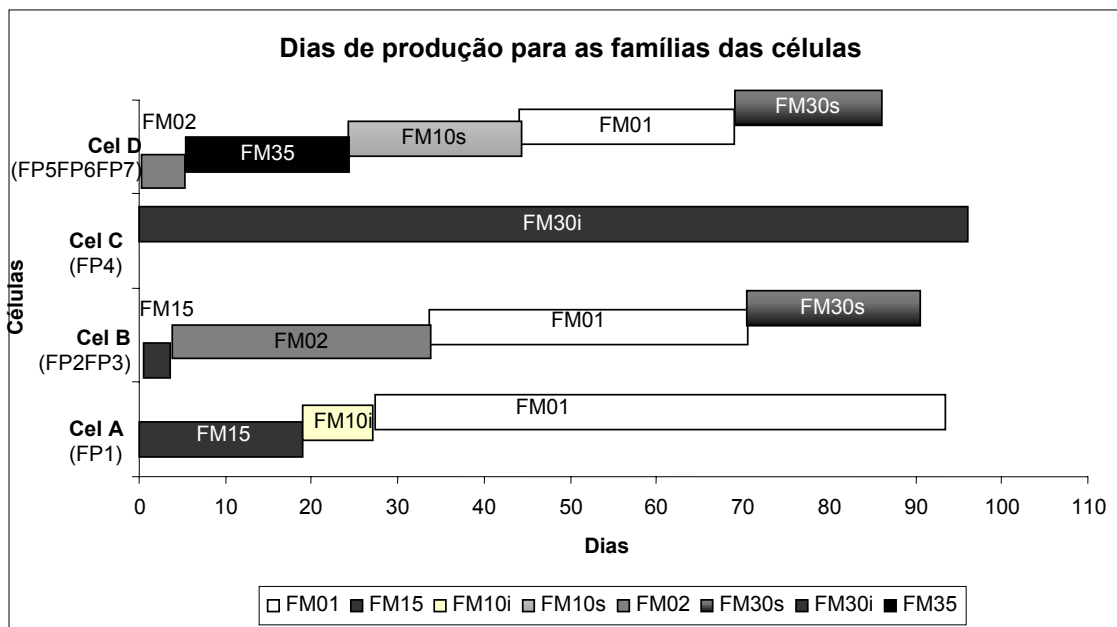
Figura D- 9. Arranjo intercelular

As referências saem das células para mesas de apoio paralelas às células e que servem para juntar as referências da mesma família de mercado, como as calças do

fato de treino que saem da célula C e as camisolas que saem das células B e D. As localizações das célula A e B foram trocadas para minimizar o movimento das referências aí produzidas.

A integração e coordenação do fluxo intercelular é uma importante tarefa a desempenhar nesta actividade, principalmente quando há produção de diferentes peças para submontagens ou para o produto final ou ainda, como no caso da família de mercado fatos de treino, há produção de diferentes referências processadas em diferentes células mas para a mesma família. Desta forma há necessidade de uma sincronização entre a saída das referências 30i e 30s (calças e camisolas do fato de treino) e das referências 10i e 10s (conjunto de duas peças, destinadas a serem embaladas juntas).

A solução da Figura D- 8 mostra que existe um tempo elevado de antecipação da produção da FM30s relativamente a FM30i. Embora piorando o tempo de percurso médio, produzir FM30s no final das sequência das células B e D não atrasa a produção de nenhuma referência e não permite que estas fiquem acumuladas tanto tempo à espera de FM30i, Figura D- 10. No caso das referências 10i e 10s, a troca de FM15 e FM10i também traz vantagens para as duas famílias, i.e., menos tempo de espera na embalagem pelas restantes referências.



**Figura D- 10. Nova sequenciação das famílias nas células**

Como a produção das referências não é misturada nem estas referências se destinam a uma célula final de montagem pois as referências já são o produto final, o problema de controlo fica facilitado. Porque, embora a configuração escolhida tenha sido a célula JIT, o SPOP da empresa, enquadrada no ambiente de mercado inicialmente referido, apela a um paradigma de produção repetitiva intermitente e não produção repetitiva de fluxo uniforme (secção 2.1.2), paradigma, normalmente, subjacente ao sistema TPS.

#### **D.4. Considerações finais sobre o caso**

Para concluir pode dizer-se que nenhuma actividade na metodologia GCD é realizada independentemente das outras. Todas as actividades são relacionadas podendo haver necessidade de iterações. Os requisitos funcionais escolhidos numa fase conduzem a opções ou parâmetros de projecto específicos na próxima. Além do mais torna-se necessário uma panóplia de métodos e ferramentas em cada fase para obter boas soluções de projecto considerando não apenas avaliação técnica mas também económica de alternativas para cada célula que formam o SPOP.

Inicialmente parecia apropriado, como alternativa ao sistema utilizado, dedicar células a cada referência dentro de cada família de mercado, por causa das quantidades de algumas serem muito grandes. Isto conduziria a um grande número de células. No entanto, a aplicação sistemática da metodologia GCD conduziu a uma solução de apenas 4 células para produzir todas as referências, distribuídas por 6 famílias de mercado.

Ter células afectas a famílias de produção, os dois principais problemas que contribuem para a ineficiência, nomeadamente, o manuseamento de material e o controlo da produção são simplificados. O controlo é simplificado de duas formas: a) é mais fácil resolver o problema de afectação das referências às células e controlar o trabalho dentro das células, b) ao manter a produção contínua de cada referência em cada colecção, as mudanças de produto dentro de cada célula e ajustamentos da célula são menores e fácil de implementar. A configuração obtida tem ainda duas vantagens fundamentais em relação ao sistema existente: uma clara definição de responsabilidades e motivação para a qualidade dos produtos e elevadas taxas de produção das referências que se devem a aos efeitos de aprendizagem associados com as grandes quantidades resultantes da agregação da produção em famílias e à partilha de tarefas pelos operadores dentro das células.

Este estudo ilustra que, seguindo os passos da metodologia, se pode chegar a uma boa solução de SPOP com células independentes dedicadas a famílias de produção. Além disso, este exercício foi útil para dar confiança na utilização da metodologia e refinar alguns passos e, ainda, instrumental para mostrar a necessidade de métodos e ferramentas para manusear mais facilmente os dados e realizar as actividades de projecto.