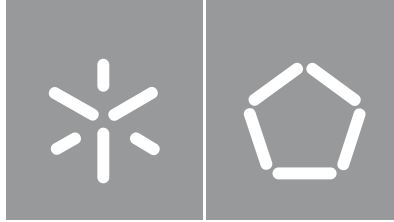




Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Marisa Cristina Quinta Loureiro

**Avaliação das Vantagens da Utilização
do Sistema GenSYS na Gestão da
Produção com Planos de Corte**



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Marisa Cristina Quinta Loureiro

**Avaliação das Vantagens da Utilização
do Sistema GenSYS na Gestão da
Produção com Planos de Corte**

Dissertação de Mestrado
Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor Paulo Jorge de Figueiredo Martins

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição

CC BY

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

AGRADECIMENTOS

A chegada até esta etapa não teria sido possível sem o carinho, a ajuda e a colaboração por parte de várias pessoas ao longo deste percurso de formação. Por este motivo, quero agradecer a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a concretização deste projeto e o sucesso desta jornada.

À minha mãe e ao meu pai, pelo amor, sacrifício e apoio incondicional, que me transmitiram força nos momentos de desânimo. Muito obrigada, sem eles nada disto tinha sido possível.

À minha irmã pela enorme compreensão, generosidade e alegria, que sempre me mostrou total disponibilidade e me encorajou em momentos cruciais ao longo deste percurso.

A toda a minha família, pela dedicação, incentivo e apoio sempre constantes.

Aos meus amigos pelo apoio e motivação, que sempre se encontravam disponíveis para me ajudar, ouvir as minhas preocupações e partilhar ideias.

Aos meus colegas do estágio, pela motivação e por tornarem esta etapa uma experiência de aprendizagem ainda mais agradável.

À empresa GenSYS e toda a sua equipa, pela oportunidade de realização do estágio e pela forma como me acompanharam e transmitiram tantos conhecimentos. Em especial, à Joana Alves e ao João Gomes, pela total disponibilidade em esclarecer todas as minhas dúvidas e fornecer as ferramentas essenciais para a realização deste trabalho.

Ao meu orientador, Professor Doutor Paulo Martins, pela sua disponibilidade em partilhar conhecimentos, sugestões e contribuições imprescindíveis para a elaboração desta dissertação.

Muito obrigada a todos!

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

Avaliação das Vantagens da Utilização do Sistema GenSYS na Gestão da Produção com Planos de Corte

RESUMO

O aumento da competitividade nos mercados obriga as organizações a oferecer cada vez mais variedade de produtos. Neste ambiente é notório o aparecimento do paradigma da Customização em Massa, onde as organizações permitem que o cliente personalize o seu produto, ao mesmo tempo que mantêm uma eficiência ao nível da produção em massa. Este paradigma contribui para um aumento dos produtos, aumentando a quantidade de informação sobre estes. Assim, é imperativo que os sistemas de produção consigam lidar com a elevada quantidade de informação e, para tal, foram criados modelos de referenciação genérica. Para além disto, as organizações devem incorporar as mais recentes tecnologias de modo a aumentar a flexibilidade, eficiência e autonomia das fábricas, transformando os sistemas de produção em *Smart Manufacturing Systems*.

Neste contexto, as organizações devem ter sistemas de informação flexíveis, capazes de lidar com toda a informação e de modelar processos produtivos mais complexos, como processos de co-produção. Estes são processos capazes de produzir vários produtos simultaneamente, denominados de co-produtos ou subprodutos. Um exemplo deste tipo de processo ocorre quando existe o corte de vários produtos simultaneamente, onde, normalmente se elaboram planos de corte. Estes são esquemas compostos pelos moldes das peças a cortar numa área de matéria-prima. Assim, recorrendo ao sistema GenSYS foram expostos vários conceitos para representar estes processos produtivos, como os conceitos de produto agregado e subproduto. Seguidamente foi apresentada uma solução para a gestão de informação de artigos, onde os planos de corte são classificados como produtos agregados e as peças cortadas como subprodutos.

Após a apresentação da solução, foi analisada a integração desta com a gestão da produção, no médio e curto prazo. Para analisar o desempenho desta solução em contexto real, foram apresentados dois casos de estudo e algumas das vantagens do sistema, como a redução do esforço para o utilizador na gestão da produção com planos de corte, a facilitação da gestão de inventários, por estes estarem sempre atualizados, a capacidade de normalizar a diversidade através da criação de planos de corte pré-definidos, entre outras.

PALAVRAS-CHAVE

Co-Produção, Produto Agregado, Plano de Corte, Planeamento e Controlo da Produção, Subproduto

Evaluation of the Advantages of Using the GenSYS System in Production Management with Cutting Plans

ABSTRACT

The increase of competitiveness in the markets forces organisations to offer more and more variety of products. In this environment, the emergence of the Mass Customization paradigm is notorious, where organizations allow customers to customize their products, while maintaining mass production efficiency. This paradigm contributes to an increase of products, increasing the amount of information about them. Therefore, it is imperative that production systems are able to handle the high amount of information, and, for that, generic referencing models were created. Furthermore, organisations must incorporate the latest technologies in order to increase the flexibility, efficiency and autonomy of factories, transforming production systems into Smart Manufacturing Systems.

In this context, organisations must have flexible information systems, capable of handling all the information and modelling more complex production processes, such as co-production processes. These are processes capable of producing several products simultaneously, called co-products or by-products. An example of this type of process occurs when several products are cut simultaneously, where cutting plans are usually prepared. These are schemes composed of the moulds of the parts to be cut in a raw material area. Thus, using the GenSYS system several concepts were exposed to represent these production processes, such as the concepts of aggregate product and co-product. Next, a solution for the product data management was presented, where the cutting plans are classified as aggregate products and the cut pieces as co-products.

After the presentation of the solution, its integration with the production management was analysed, in the medium and short term. To analyse the performance of this solution in a real context, two case studies were presented and some of the advantages of the system were highlighted, such as the reduction of effort for the user in the production management with cutting plans, the facilitation of inventory management, since these are always up to date, the capacity to normalise diversity through the creation of predefined cutting plans, among others.

KEYWORDS

Co-production, Aggregate product, Cutting Plan, Production Planning and Control, Co-product

ÍNDICE

Agradecimentos	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vi
Índice.....	vii
Índice de Figuras.....	ix
Índice de Tabelas.....	xii
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos	xiii
1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objetivos de Investigação	2
1.3 Metodologia de Investigação.....	3
1.4 Estrutura da Dissertação	4
2. Revisão Bibliográfica	6
2.1 Sistemas de Planeamento e Controlo da Produção	6
2.1.1 Sistema de Produção	6
2.1.2 Sistemas de planeamento e controlo da produção	7
2.2 Customização em Massa	14
2.3 Sistemas de Informação e Indústria 4.0.....	17
2.3.1 Evolução dos Sistemas de Informação	18
2.3.2 <i>Smart Manufacturing Systems</i> e Indústria 4.0.....	21
2.4 Gestão de Informação de Artigos.....	23
2.4.1 Artigo.....	24
2.4.2 Lista de Materiais	24
2.4.3 Gamas Operatórias.....	25
2.4.4 Modelos de Referenciação de Artigos	26
2.5 Co-produção.....	28
2.6 Planos de Corte.....	32
3. Empresa GenSYS	35
3.1 Apresentação da empresa.....	35
3.2 GenPDM.....	37

3.2.1	Referência Genérica	37
3.2.2	Tipo de Parâmetro.....	38
3.2.3	Lista de Materiais Genérica	39
3.2.4	Tipo de Operação	41
3.2.5	Gamas Operatórias Genéricas	41
3.3	GenPPC.....	43
3.4	GenSFC	44
4.	Co-produção em GenSYS	48
4.1	Modelo para a gestão de informação de artigos para processos de co-produção	48
4.1.1	Lista de Materiais de um Produto Agregado	49
4.1.2	Lista de Materiais de um Subproduto	52
4.1.3	Gama Operatória para o Produto Agregado e Subproduto	52
4.2	Modelação de planos de corte com exemplo demonstrativo.....	53
4.3	Gestão da Produção com Produtos Agregados e Subprodutos	59
4.3.1	Planeamento de necessidades de materiais e capacidades:.....	60
4.3.2	Lançamento de Ordens de Produção de Produtos Agregados	63
4.3.3	Programação da Produção	66
5.	Vantagens da Utilização do Sistema GenSYS com Planos de Corte.....	69
5.1	Caso de Estudo 1: Corte de Bobines em Bandas	69
5.1.1	Modelação do processo de corte	70
5.1.2	Gestão da Produção	72
5.1.3	Vantagens da utilização do sistema GenSYS no Caso de Estudo 1	75
5.2	Caso de estudo 2: Corte 2D de chapa metálica	76
5.2.1	Modelação do processo de corte	77
5.2.2	Vantagens da utilização do sistema GenSYS no Caso de Estudo 2	80
6.	Conclusões.....	84
	Referências Bibliográficas	87
	Apêndice 1 – Caso de Estudo 1	93
	Apêndice 2 – Caso de Estudo 2	94
	Anexo 1 – Exemplo de um plano de corte.....	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Representação de um sistema de produção	7
Figura 2 – Representação das áreas funcionais de um SPCP	9
Figura 3 – Sistema MRP	11
Figura 4 – Demonstração da técnica MRP	12
Figura 5 – Esquema com a evolução dos SPCP	18
Figura 6 - Representação de um sistema ERP (Sistema de Gestão Empresarial)	20
Figura 7 – Representação de uma BOM com estrutura em árvore.....	25
Figura 8 - Representação de uma população de artigos e artigo específico.....	27
Figura 9 – Representação de uma população de artigos com as respetivas famílias	27
Figura 10 – a) Diagrama do processo de transformação; b) BOM convencional	29
Figura 11 – Diagrama do processo de transformação com múltiplos outputs.....	29
Figura 12 – Representação de uma BOM divergente	30
Figura 13 – a) Representação de um BOM convencional; b) Representação de uma BOM divergente.	31
Figura 14 – Representação de uma BOM com co-produtos.....	32
Figura 15 – Representação de um “artigo de planeamento”	32
Figura 16 – Representação de um plano de corte 1D.....	33
Figura 17 – Representação de um plano de corte 2D em a) regular e em b) irregular.....	34
Figura 18 – Esquema das áreas funcionais e dos respetivos módulos do sistema GenSYS	36
Figura 19 – Representação de uma referência genérica no modelo GenPDM com o seu conjunto de parâmetros	38
Figura 20 – Representação gráfica de um tipo de parâmetro definido em a) extensão e em b) compreensão	39
Figura 21 – Representação gráfica de uma lista de materiais genérica no modelo GenPDM	40
Figura 22 – Representação gráfica de um tipo de operação no modelo GenPDM	41
Figura 23 – Representação gráfica de uma gama operatória genérica no modelo GenPDM	42
Figura 24 – Representação gráfica de uma ordem de programação e de um lote da ordem de programação.....	44
Figura 25 – Representação gráfica da Fila do Sistema e da Fila FIFO.....	45
Figura 26 – Representação gráfica da Fila do Posto	46

Figura 27 – Representação de um processo produtivo com um produto agregado e subprodutos	49
Figura 28 – Lista de componentes presentes num produto agregado.....	50
Figura 29 – Representação da BOM do produto agregado.....	50
Figura 30 – Prazo de entrega para o produto agregado segundo a sua BOM	51
Figura 31 – Prazo de entrega para o produto agregado sob o efeito do prazo de entrega relativo nos subprodutos.....	52
Figura 32 – Representação da BOO de um produto agregado com os respetivos planos de consumo	53
Figura 33 – Representação de um processo produtivo de corte.....	54
Figura 34 – Representação de um processo produtivo de corte utilizando o conceito de plano de corte	54
Figura 35 – Representação gráfica do exemplo	55
Figura 36 – Representação da BOMO da Peça Cortada 1.....	56
Figura 37 - Representação da BOMO do Produto Final	57
Figura 38 – Representação do impacto do prazo de entrega relativo no exemplo.....	58
Figura 39 – Formulário para a definição do plano de devolução de uma referência classificada como produto agregado.....	58
Figura 40 – Representação da BOMO do Plano de Corte.....	59
Figura 41 – Cálculo do MRP para o Produto Final, a Peça Cortada 1 e a Matéria-Prima.....	61
Figura 42 – Lançamentos Previstos pelo sistema GenSYS: a) do Produto Final, b) da Peça Cortada 1 e c) da Matéria-Prima.....	62
Figura 43 – Cálculo do CRP para o centro de trabalho de corte.....	62
Figura 44 – Representação da data de fim de produção de um produto agregado	64
Figura 45 – Formulário para criação de uma ordem de produção	64
Figura 46 - Cálculo MRP para a Peça Cortada 1 antes e depois do lançamento da ordem de produção do Plano de Corte	65
Figura 47 – Cálculo do CRP para o centro de trabalho de corte depois do lançamento da ordem de produção do Plano de Corte.....	65
Figura 48 – Informação do kanban no módulo GenPROG.....	66
Figura 49 – Indicação da quantidade de peças devolvidas do plano de corte	67
Figura 50 – Representação do corte da bobine.....	70
Figura 51 – Representação gráfica da BOMO da referência genérica “Banda”	71
Figura 52 - Representação gráfica da BOMO da referência genérica “Plano de Corte”	72

Figura 53 – Lançamentos previstos das Bandas.....	73
Figura 54 – Demonstração do MRP através o diagrama de Gantt no módulo GenPLN	73
Figura 55 – Preenchimento dos parâmetros da referência genérica “Plano de Corte”	74
Figura 56 – Demonstração do MRP após o lançamento da ordem de produção referente ao “Plano de Corte” através o diagrama de Gantt no módulo GenPLN	74
Figura 57 – Identificação das bandas devolvidas depois de terminada a operação de corte	75
Figura 58 – Representação do processo produtivo de um produto semiacabado.....	77
Figura 59 – Representação do processo produtivo de acordo com a modelação em GenSYS.....	77
Figura 60 – Representação do template da referência “Plano de Corte Chapa”	78
Figura 61 – Representação da BOM de um plano de corte específico	79
Figura 62 – Exemplo da operação de corte sem aplicação da solução	81
Figura 63 – Exemplo da operação de corte com aplicação da solução	82
Figura 64 – Representação gráfica dos tipos de parâmetros para o case de estudo 1	93
Figura 65 – Representação gráfica da referência genérica “Bobine”	93
Figura 66 – Representação gráfica do tipo de operação “Corte”	93
Figura 67 – Representação gráfica dos tipos de parâmetros para o case de estudo 1	94
Figura 68 – Exemplo de um plano de corte	95

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Missão e Visão da empresa GenSYS	35
Tabela 2 – Demonstração do número total de ações que necessitam de ser realizadas com e sem aplicação do modelo apresentado.....	82

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

APS – *Advanced Planning and Scheduling*

BOM – *Bill of Materials*

BOMO – *Bill of Materials and Operations*

BOO – *Bill of Operations*

CM – Customização em Massa

CPS – *Cyber-Physical Systems*

CRM – Sistemas de gestão de relacionamento com o cliente

CRP – *Capacity Requirements Planning*

CSP – *Cutting Stock Problem*

ERP – *Enterprise Resource Planning*

GBOM – *Generic Bill of Materials*

GBOO – *Generic Bill of Operations*

GenPDM – *Generic Product Data Management*

GenPPC – *Generic Production Planning Control*

GenSFC – *Generic Shop Floor Control*

IoT – *Internet of Things*

LP – Lançamentos Previstos

LT – *Lead Time*

MES – *Manufacturing Execution Systems*

MRP – *Materials Requirement Planning*

MRP II – *Manufacturing Resource Planning*

NB – Necessidades Brutas

NL – Necessidades Líquidas

PCP – Planeamento e Controlo da Produção

PDM – *Product Data Management*

ROP – *Reorder Point Systems*

RP – Receções Programadas

SCM – Sistemas de gestão da cadeia de fornecimento

SD – Stock Disponível

SMS – *Smart Manufacturing Systems*

SPCP – Sistemas de Planeamento e Controlo da Produção

1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo vai-se proceder à introdução ao tema do projeto, realizado em ambiente empresarial, de Dissertação em Engenharia e Gestão Industrial, no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial, pela Universidade do Minho. Este projeto consiste na avaliação das vantagens da utilização do sistema GenSYS na Gestão da produção com Planos de Corte.

Primeiramente é elaborado o enquadramento do tema, tendo em conta a literatura analisada, sendo de seguida apresentados os objetivos e as perguntas de investigação do projeto, a metodologia de investigação e, por fim, a estrutura da dissertação.

1.1 Enquadramento

As empresas estão a mudar do paradigma de produção em massa para a customização em massa, do inglês *Mass Customization*, para atender melhor aos requisitos dos clientes e oferecer produtos customizados através de processos flexíveis a preços baixos (Da Silveira et al., 2001). Esta alteração resulta numa explosão de diversidade de potenciais ofertas que a organização produz (Chatras et al., 2016) e está a obrigar as empresas a repensarem a sua gestão da produção.

Este novo paradigma contribui para um aumento da diversidade total de produtos acabados, semiacabados e matérias-primas, aumentando desta forma, a quantidade de informação sobre os artigos da empresa, que resulta num problema para os sistemas de informação para o planeamento e controlo da produção (Hegge & Wortmann, 1991).

Os modelos de gestão mais tradicionais, como os da produção em massa, em que cada artigo possui uma referência única, com uma lista de materiais e uma gama operatória, tornam-se incapazes de responder a estes novos requisitos (Gomes et al., 2009). Deste modo, torna-se imperativo ter um sistema flexível, reconfigurável, capaz de integrar toda a informação e lidar com uma grande variedade de produtos e componentes de forma eficiente (Gomes et al., 2009).

Para responder a este novo ambiente e competir no mercado, foram criados modelos de referência genérica, que representam uma única estrutura para todas as variantes de uma família de produtos (Hegge & Wortmann, 1991). Esta abordagem mais genérica para representar informação dos artigos tem como intuito diminuir o esforço e a complexidade na gestão da informação dos produtos e da produção (Gomes et al., 2009).

Atualmente, as organizações estão a ganhar vantagem competitiva através da inserção de novas tecnologias nos sistemas de produção, passando a lidar com sistemas inteligentes de produção, os *Smart Manufacturing Systems* (Kang et al., 2016). O termo *Smart Manufacturing* aparece com a quarta revolução industrial, denominada de Indústria 4.0. Esta deriva de uma iniciativa alemã que tem como propósito criar fábricas inteligentes, onde os sistemas de produção são transformados com a junção das mais recentes tecnologias como os *Cyber-Physical Systems* (CPS), *Internet of Things* (IoT), entre outros. Estas tecnologias permitem às empresas de produção uma fusão entre o mundo físico e o mundo digital, e apoiam o processo de tomada de decisões, em tempo real e de modo eficaz. No contexto da Indústria 4.0, os sistemas de produção são atualizados para um nível inteligente, que tiram partido das tecnologias mais avançadas para alcançar processos de fabrico flexíveis, inteligentes e reconfiguráveis para no final fazer face a um mercado dinâmico (Kang et al., 2016; Zhong et al., 2017).

Perante estas mudanças tecnológicas e a grande diversidade de artigos, é muito importante que os sistemas tenham a capacidade de representar e modelar todos os processos produtivos presentes numa organização, quer sejam processos convencionais, com transformação de artigos em um produto final, quer sejam processos mais complexos, como a transformação de diferentes produtos no mesmo processo produtivo, ao mesmo tempo. Este último fenómeno, também designado de co-produção, é capaz de representar todos os processos de transformação de onde resultam vários produtos distintos simultaneamente (Loos, 2001). No entanto, muitos dos sistemas de informação para a produção não são construídos com estes processos complexos em mente, logo, não conseguem lidar com estes da melhor forma (Cardós & Miralles, 2007).

Estes processos produtivos estão presentes em várias indústrias, sendo fulcral que os sistemas de produção ultrapassem este desafio. Um exemplo concreto deste problema pode ser encontrado em indústrias que trabalham com chapas metálicas, plásticos, madeira, vidros, entre outros materiais, nas quais são elaborados planos de corte. Um plano de corte consiste num esboço que indica como um conjunto de moldes, de um ou mais produtos, é cortado. Então, a execução do processo de corte com o recurso a planos de corte pode ser considerada um processo de co-produção, tendo assim de ser modelado de forma distinta nos sistemas de informação das organizações.

1.2 Objetivos de Investigação

Este projeto foi desenvolvido na empresa GenSYS - *Generic Smart Manufacturing System*, recorrendo ao seu sistema de planeamento, controlo e programação da produção baseado em referência genérica.

De modo geral pretende-se avaliar a utilização do sistema GenSYS na gestão da produção de processos de co-produção, particularmente processos produtivos com planos de corte. As áreas que são objeto neste trabalho são as seguintes: modelação com referência genérica, *Smart Manufacturing Systems* e gestão da produção com planos de corte. Deste modo, procura-se responder às seguintes questões de investigação:

- Como se deve fazer a gestão da informação de artigos com base em conceitos e modelos de referência genérica?
- Como é que se integra este modelo no sistema de planeamento e controlo da produção e nos processos da programação da produção?
- Quais são as vantagens do sistema GenSYS na gestão da produção com planos de corte?

Assim sendo, os objetivos desta dissertação são os seguintes:

- Identificar os conceitos e modelos de referência genérica implementados no sistema GenSYS, para representar informação sobre planos de corte, listas de materiais e gamas operatórias;
- Apresentar uma solução para a gestão de informação de artigos, nomeadamente para modelar processos com planos de corte, com base nos conceitos e modelos de referência genérica;
- Avaliar a integração da solução apresentada com os processos de planeamento e controlo da produção, nomeadamente na utilização das técnicas MRP (*Material Requirement Planning*) e CRP (*Capacity requirements planning*);
- Avaliar a integração da solução apresentada com os processos de programação da produção, nomeadamente na alocação, sequenciação e registo de trabalhos nos postos.

1.3 Metodologia de Investigação

Num processo de investigação deve explicar-se a natureza da investigação, bem como a estratégia a usar e, para isto, devem ser analisados os objetivos e as perguntas de investigação. De acordo com Saunders et al. (2016), a descrição da metodologia de investigação está dividida em seis camadas, sendo que as camadas alusivas ao planeamento da investigação são quatro, a saber: os tipos de métodos, a natureza da investigação, o horizonte temporal e as estratégias de investigação (Saunders et al., 2016).

A primeira escolha está ligada aos tipos de métodos, sendo eles: quantitativos, qualitativos ou mistos (Saunders et al., 2016). Neste projeto, a tipologia seguida é primordialmente qualitativa, pois a abordagem a seguir é do tipo interpretativista e as variáveis não são da classe numérica.

De seguida, a natureza desta investigação é descritiva, pois pretende-se caracterizar o sistema GenSYS, no contexto da Indústria 4.0 na gestão da produção com planos de corte.

Quanto ao horizonte temporal da investigação, este é transversal, porque este estudo é localizado no tempo, onde foi desenvolvida uma solução e esta foi estudada e avaliada em diferentes cenários num período de tempo.

Por último, a estratégia de investigação adotada nesta dissertação é Caso de Estudo, uma vez que se tratará do desenvolvimento do conhecimento detalhado acerca de vários casos de estudo, nomeadamente casos empresariais reais.

1.4 Estrutura da Dissertação

Este documento encontra-se dividido em seis capítulos, a saber: (1) Introdução; (2) Revisão de literatura; (3) Empresa GenSYS; (4) Co-Produção em GenSYS; (5) Vantagens da Utilização do Sistema GenSYS com Planos de Corte; (6) Conclusões.

No primeiro capítulo são apresentados os conceitos em estudo, descritos no enquadramento do projeto. Além disto, são referidos os objetivos que se pretendem atingir com este projeto, bem como as perguntas e a metodologia de investigação.

No capítulo dois é apresentada a revisão de literatura, cuja importância é significativa para esta investigação. Este capítulo suporta, de forma teórica, os capítulos seguintes, retratando conceitos necessários para a compreensão deste projeto, tais como de customização em massa, planeamento e controlo da produção, ou ainda referenciação genérica.

Quanto ao capítulo três, foca-se na apresentação da empresa onde ocorreu a investigação, desde a sua história, à sua missão e visão. Também neste capítulo, apresenta-se o sistema de planeamento e controlo da produção concebido pela empresa – o GenSYS, sendo enaltecidos os módulos que o constituem.

O quarto capítulo, a Co-Produção em GenSYS, consiste na exposição de conceitos deste sistema para a gestão da informação de artigos que resultam de processos de co-produção. São ainda identificados os modelos de referenciação genérica implementados no sistema GenSYS, para representar informação sobre planos de corte, listas de materiais e gamas operatórias. Por fim, será estudado o impacto da solução de gestão de informação de artigos na gestão da produção com planos de corte, analisando a integração da solução, quer com os processos de planeamento e controlo da produção, quer com os processos de programação da produção.

Passando para o capítulo cinco, são apresentadas as vantagens da utilização do sistema GenSYS com planos de corte, utilizando dois casos de estudo para suportar e exemplificar as potencialidades deste sistema. No primeiro caso de estudo é realizada a modelação do processo de corte segundo o modelo de referência genérica. No segundo caso de estudo observa-se como o GenSYS lida com outro processo de corte, onde são traçados planos de corte únicos.

Para finalizar, são consolidadas as conclusões do projeto desenvolvido, no último e sexto capítulo deste relatório de Dissertação.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é realizada uma revisão da literatura que abordará as temáticas mais relevantes para o projeto. No primeiro subcapítulo é retratado o conceito de sistema de planeamento e controlo da produção, e as suas áreas funcionais. O segundo subcapítulo discorre sobre o conceito emergente de Customização em Massa. No terceiro são tratados os sistemas de informação, seguindo uma breve descrição da evolução destes e das suas tendências para o futuro. No quarto subcapítulo é analisada a gestão de informação de artigos, seguindo-se uma sucinta descrição dos modelos de representação de artigos. No quinto subcapítulo são estudados os processos que podem produzir vários produtos finais simultaneamente. Por fim, no sexto subcapítulo expõem-se o conceito de plano de corte.

2.1 Sistemas de Planeamento e Controlo da Produção

Para se manterem competitivas no mercado, as organizações devem ser capazes de dar uma resposta rápida a esse mercado, de forma eficiente. Para tal, estas precisam de tornar o seu processo produtivo o mais eficiente possível, tendo, assim, de recorrer à Gestão de Produção ou Planeamento e Controlo da Produção (*Production Planning and Control*). Associada à Gestão da Produção emergem os conceitos de gestão e planeamento de materiais e capacidades, programação e controlo de produção. Deste modo, neste capítulo, são apresentados os conceitos de sistema de planeamento e controlo da produção, bem como as respetivas áreas funcionais deste.

2.1.1 Sistema de Produção

De modo geral, os sistemas de produção têm como principal objetivo obter e fornecer produtos aos clientes, sendo que estes podem ser objetos tangíveis ou intangíveis. De acordo com Moreira (2012), um sistema de produção é uma entidade abstrata e é definido como um conjunto de atividades e operações envolvidas na produção de bens, no caso das indústrias, ou serviços.

A produção de bens, como é possível observar na Figura 1, utiliza recursos de produção, como materiais, máquinas e equipamentos, capital, trabalho (mão-de-obra), informações para executar um processo de transformação, de onde resultam produtos finais. Este sistema de inputs-outputs (entradas-saídas) é também designado por processo produtivo (Hitomi, 1996).

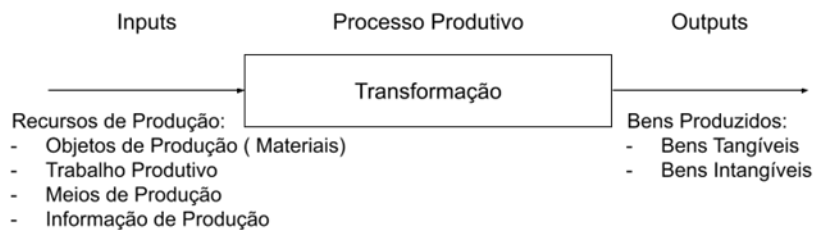


Figura 1 – Representação de um sistema de produção
Adaptado de Hitomi (1996)

Assim sendo, Hitomi (1996) define produção como sendo um processo que é capaz de produzir bens tangíveis e serviços intangíveis, a partir dos recursos de produção, gerando, deste modo, utilidade ao aumentar o valor acrescentado. Para além desta definição através de um sistema input-output, este autor refere que para satisfazer as necessidades do mercado é essencial determinar e espelhar essas necessidades nos processos de produção. Esta função de gestão conduz ao planeamento e controlo da produção.

2.1.2 Sistemas de planeamento e controlo da produção

O Planeamento e Controlo da Produção (PCP) tem como função planear e controlar a produção para que a empresa atinja eficientemente os objetivos delineados (Bonney, 2000). Segundo Kumar & Suresh (2008), com o PCP é possível alcançar melhor eficiência na produção, pois os materiais ficam disponíveis no momento certo e na quantidade necessária. Adicionalmente, para estes autores, o PCP constitui uma ferramenta útil na coordenação do sistema produtivo, visto que possibilita a utilização eficaz dos recursos da empresa, o alcance dos objetivos relativos à qualidade, quantidade, custo e prazos de entrega. Para além disto, também permite a obtenção de um fluxo de produção contínuo, e a produção de alta qualidade com preços competitivos.

Assim sendo, é notório o impacto determinante que o PCP detém no desempenho de um sistema produtivo. Portanto, um sistema de planeamento e controlo da produção (SPCP) pode trazer inúmeras vantagens competitivas a uma empresa. Este sistema permite gerir eficientemente os fluxos de materiais, as pessoas e os equipamentos, coordenar as operações internas com as dos fornecedores e avaliar as necessidades do mercado, estando em contacto com os clientes (Carvalho, 2000).

Deste modo, os SPCP têm um conjunto de atividades de gestão, sendo estas (Carvalho, 2000; Lima, 2013):

- O planeamento da necessidade de materiais e de capacidade para satisfazer a procura.
- O planeamento das quantidades necessárias de materiais e da sua chegada para a produção de produtos.

- Garantir o uso dos equipamentos e das instalações.
- O lançamento de ordens de produção.
- Programar detalhadamente as atividades de produção para que pessoas e equipamentos trabalhem de modo correto.
- A monitorização de materiais, operações de produção, encomendas, pessoas, equipamentos e sistemas de transporte, e o controlo de stocks.
- A comunicação com clientes e fornecedores.
- A avaliação do desempenho do sistema e ter uma capacidade de resposta rápida a uma necessidade de alteração inesperada.
- Fornecer informação das atividades de produção para outras áreas.

O PCP pode ser dividido em três horizontes temporais, o planeamento a curto, médio e longo prazo. No planeamento a longo prazo, o sistema é responsável por fornecer informação para tomar decisões sobre a capacidade adequada, incluindo equipamentos, edifícios, fornecedores, entre outros, para satisfazer as necessidades futuras do mercado. No médio prazo, é realizado o planeamento de necessidades de matérias e capacidade, onde o foco encontra-se na entrega do material correto e na capacidade de produção necessária para satisfazer as necessidades dos clientes. No planeamento a curto prazo, é executada uma programação detalhada dos recursos de modo a satisfazer os requisitos da produção, onde é pretendido que as pessoas trabalhem no produto correto, com os materiais certos (Jacobs et al., 2011).

É possível enquadrar a estrutura de um SPCP nesta divisão temporal, como se pode observar na Figura 2, com as respetivas áreas funcionais.

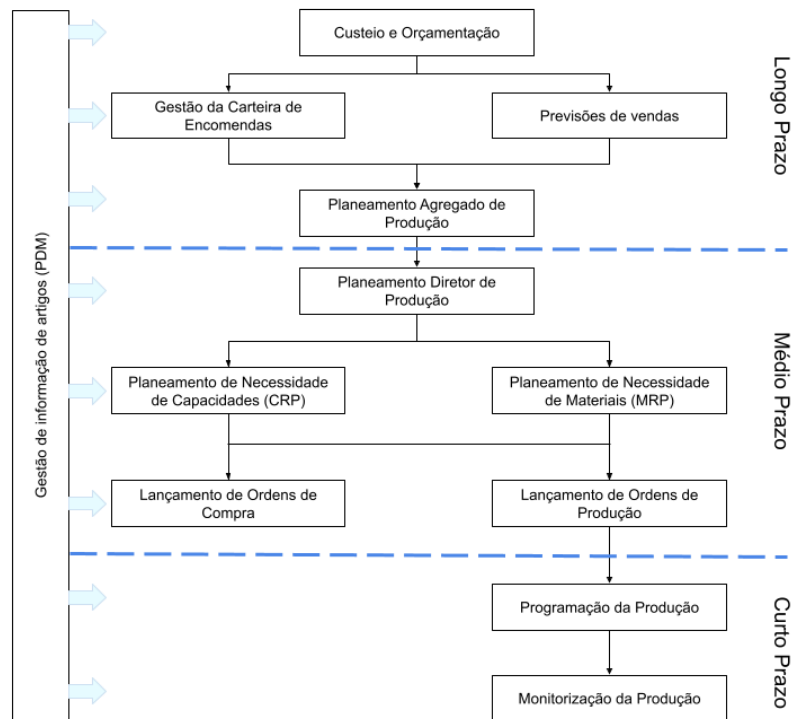


Figura 2 – Representação das áreas funcionais de um SPCP
Adaptado de Lima (2013)

Seguidamente, será realizada uma breve descrição da cada uma das áreas funcionais.

Planeamento Agregado da Produção

O planeamento Agregado da Produção ou Planeamento da Produção é responsável pela criação de um plano de produção que transmita a estratégia de produção da empresa para um horizonte de tempo de geralmente um ano. Para este período de tempo são definidas as quantidades a produzir, em termos agregados (Carvalho, 2000). Assim, são definidas as quantidades de famílias de produtos a entregar a clientes, para períodos alargados e baseando-se em previsões ou contratos. Esta informação é utilizada para fazer o planeamento de recursos, e para análise e determinação de estratégias de satisfação da procura (Lima, 2013).

Relativamente ao planeamento de recursos, este indica qual a capacidade necessária, de modo a produzir as quantidades calculadas no planeamento agregado (Carvalho, 2000). Segundo Silva (2008), este planeamento é um processo iterativo, onde é pretendido balancear a capacidade fixa com a capacidade variável até se alcançar um plano de produção exequível, que opera com a capacidade a níveis desejados e satisfaz a procura.

Planeamento Diretor da Produção

O Planeamento Diretor da Produção, também designado de Planeamento Mestre da Produção, surge na sequência do planeamento agregado. Este planeamento expressa os planos de produção ao nível de produtos finais, aos quais podem ser atribuídos prioridades, sendo útil para planear as necessidades de materiais e de capacidade. O horizonte temporal utilizado neste planeamento depende do prazo de entrega (*Lead Time* - LT) e de certas características dos produtos, sendo normalmente utilizado o período mensal ou semanal (Kumar & Suresh, 2008).

Contrariamente ao nível anterior de longo prazo para o qual ainda não há conhecimento da procura dos produtos específicos, neste nível de planeamento, a procura de cada artigo específico já é conhecida. Portanto, o planeamento deixa de ser agregado e passa a ser realizado para produtos específicos (Carvalho, 2000), onde são definidas as quantidades de produtos finais a produzir em períodos não agregados (Lima, 2013).

A este nível pode também ser realizado o planeamento diretor de capacidades, no qual se pretende avaliar a existência de capacidade para cumprir o estabelecido no planeamento diretor da produção. Estas duas atividades estão inter-relacionadas, por isso, devem ser calculadas de forma integrada (Carvalho, 2000).

Planeamento de Necessidades de Materiais

O planeamento de necessidades de materiais é uma ferramenta básica que realiza o planeamento detalhado dos materiais necessários para produzir um produto final. A técnica mais frequentemente utilizada para este planeamento é o *Materials Requirement Planning* (MRP), que determina em que quantidade e em que momento um objeto deve ser fornecido, para cumprir com o plano diretor de produção. Para alcançar isto, o MRP é calculado para todos os artigos, sejam estas matérias-primas, componentes intermédios ou produtos finais (Kumar & Suresh, 2008; Jacobs et al., 2011). Deste modo, o MRP explode planos, de período a período, para todos os componentes necessários à produção de todos os produtos especificados no planeamento diretor (Carvalho, 2000).

Conforme ilustrado na Figura 3, para executar o MRP são necessários três inputs gerais: o plano diretor de produção, o estado do inventário e informação relativa a todos os artigos. Ao utilizar estas fontes de informação e efetuar o cálculo do MRP são determinadas as quantidades de materiais a encomendar ou a produzir, para cada período, expressas num registo de lançamentos previstos, programados ou planeados (Kumar & Suresh, 2008; S. de C. Silva, 2008).

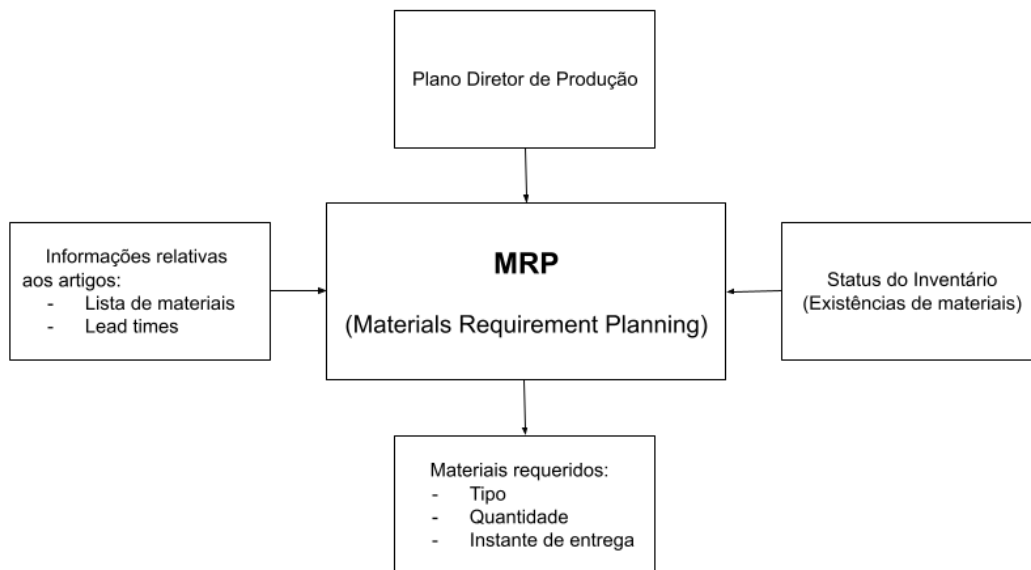


Figura 3 – Sistema MRP
Adaptado de Silva (2008)

Assim sendo, tendo em consideração a lista de matérias, as quantidades de utilização e os prazos de entrega dos artigos, a técnica de MRP é realizada de forma iterativa, nível a nível, seguindo a estrutura do produto. Para utilizar esta ferramenta é necessário reconhecer certos conceitos, a saber (Lima, 2013):

- **Necessidades Brutas (NB):** indicam as quantidades de cada artigo que têm de estar disponíveis em cada período.
- **Receções Programadas (RP):** representam a chegada de encomendas, isto é, ordens de compra com data de entrega fixa. Ou refletem a conclusão de ordens de produção para cada período, sendo que estas ordens de produção já se podem encontrar quer em execução quer com material reservado.
- **Stock Disponível (SD):** corresponde às existências de materiais previstas em cada período, atendendo ao stock inicial, às receções programadas, às ordens planeadas e ao consumo das necessidades brutas.
- **Necessidades Líquidas (NL):** indicam as quantidades de cada artigo que têm de estar disponíveis em cada período, como resultado de uma ordem de produção ou de compra.
- **Lançamentos Previstos (LP):** representam sugestões de ordens de compra ou de produção para os artigos em cada período, definindo as respetivas quantidades e datas. O lançamento previsto está relacionado com uma determinada necessidade líquida desfasada no tempo, sendo que esta diferença temporal corresponde ao prazo de entrega do artigo.

Assim sendo, considerando os termos mencionados, é realizado o cálculo do MRP seguindo a equação, para cada período “i”.

$$NL_i = \text{Max} [0; NB_i - (RP_i + SD_{i-1})]$$

Normalmente, a técnica MRP é calculada e representada através de uma tabela, como se pode observar na Figura 4.

Produto A	L=25	Períodos				
		1	2	3	4	5
LT = 1	SS=0					
NB - Necessidades Brutas			5		20	5
RP - Receções Programadas		25				
SD - Stock Disponível	2	27	22	22	2	22
NL - Necessidades Líquidas						3
LP - Lançamentos Previstos					25	

Figura 4 – Demonstração da técnica MRP
(Lima, 2013)

É ainda importante referir que o MRP gera sugestões de ordens de compra e de produção, no entanto, o lançamento destas é realizado pelos gestores, os quais poderão aceitar as sugestões vindas do MRP ou exercer alterações (Lima, 2013).

Planeamento de Necessidades de Capacidade

O Planeamento de Necessidades de Capacidade, em inglês *Capacity Requirements Planning* (CRP), realiza um planeamento mais detalhado das necessidades de capacidade, determinando a capacidade necessária para a execução do plano diretor de produção, ordens abertas e ordens planeadas. De forma a alcançar um planeamento detalhado, são utilizados como base os planos resultantes do MRP. Para além disto, a técnica de CRP emprega informação relativa aos trabalhos que se encontram em execução, aos percursos realizados pelos artigos, às receções programadas e às ordens planeadas (Jacobs et al., 2011).

Ademais, a informação fornecida pela técnica CRP pode ser utilizada para determinar a capacidade tanto de máquinas como de mão-de-obra, num horizonte temporal de várias semanas a um ano (Jacobs et al., 2011). De modo a avaliar se a existência de recursos é suficiente para a execução dos planos e das ordens de produção, o cálculo realizado pelo CRP é comparado com a capacidade instalada na organização (Lima, 2013).

Lançamento de Ordens de Produção e de Ordens de Compra

O lançamento de ordens de produção e de ordens de compra corresponde ao processo de lançar as ordens para o chão de fábrica ou para os fornecedores, respetivamente. Por outras palavras, o lançamento de ordens de produção permite o início da produção, ao passo que o lançamento de ordens de compra gera a compra de matérias-primas. Depois do lançamento de uma ordem, a ordem planeada converte-se numa receção programada que reflete o desfasamento causado pelo prazo de entrega. Ainda, estas ordens são ativadas quando são lançadas e são dadas como prontas, quando as receções programadas dão entrada em armazém. Posteriormente, deve ocorrer uma transição que aumente o inventário e elimine a receção programada (Jacobs et al., 2011).

Programação da Produção

Após o lançamento das ordens de produção, estas originam um conjunto de trabalhos correspondentes à execução de operações, e estes trabalhos devem ser atribuídos a cada um dos postos de trabalho da organização (Lima, 2013). Deste modo, a programação da produção está situada no planeamento de curto prazo e tem como função distribuir, às diferentes unidades de produção, os trabalhos lançados de forma a executar o plano de produção. Esta distribuição deve ser sequenciada, ou seja, deve seguir uma ordem pela qual os trabalhos serão realizados. Esta sequência deve ser definida com o intuito de alcançar determinados objetivos de produção, como cumprir com os prazos de entrega, atingir níveis elevados de utilização do sistema, alcançar tempos de espera reduzidos, entre outros (Silva, 2008).

De forma a tornar a sequenciação de trabalhos mais visual, esta pode ser representada num gráfico de Gantt. No eixo horizontal é colocada uma escala de tempo, e no eixo vertical são dispostos os postos de trabalho para a realização das operações, sendo os trabalhos programados para cada posto de trabalho. Com esta ferramenta é ainda possível comparar o programa de produção com o real desempenho e, posteriormente, aplicar medidas para melhorar a eficiência do trabalho produtivo (Hitomi, 1996).

Monitorização da Produção

A monitorização da produção tem como objetivo principal o acompanhamento dos trabalhos de modo a cumprir com os prazos de fabrico propostos, assim como assegurar a qualidade de produção (Silva, 2008). O sistema de monitorização, para além do controlo da progressão dos trabalhos, deve ser capaz de analisar o estado das ordens de produção, o tempo real utilizado em cada ordem de produção comparativamente ao tempo padrão e o tempo gasto em operações produtivas e não produtivas. Este sistema deve ainda permitir o cálculo de rendimentos de máquinas e avaliar a utilização da capacidade disponível (Lima, 2013).

Assim sendo, a programação e controlo da produção fazem parte do último nível de um SPCP e, maioritariamente, acontecem em tempo real, estabelecendo prioridades para todas ordens de produção e trabalhos a cada posto de trabalho, de forma a obter o melhor desempenho possível (Carvalho, 2000).

Gestão da Informação de Artigos

A Gestão de Informação de Artigos, do inglês *Product Data Management* (PDM), é a área funcional transversal a todo o SPCP, pois fornece informação a todas as restantes áreas. O PDM gere toda a informação relacionada com os artigos, como a sua estrutura e os seus documentos, e com os processos produtivos (Wang et al., 2010). Esta área funcional encontra-se mais aprofundada na secção 2.4 – Gestão de Informação de Artigos.

2.2 Customização em Massa

O paradigma da customização em massa surgiu como resposta às necessidades do mercado e ao aumento da exigência dos consumidores, que não podiam ser respondidas com a produção em massa. A produção em massa foca-se em produzir grandes quantidades de produtos standard com qualidade e com prazos de entrega reduzidos através de uma produção eficiente (Radder & Louw, 1999). As empresas que adotam este modelo, seguem uma estratégia de produzir produtos standard para stock (Blecker & Friedrich, 2006). Este paradigma beneficia, deste modo, de baixos custos de produção e preços reduzidos devido às elevadas taxas de produção e padronização (Radder & Louw, 1999; Blecker & Friedrich, 2006).

Contudo, nos últimos anos, este paradigma tem sido colocado em causa, visto que a estratégia de negócio de muitas organizações tem vindo a transformar-se para que estas se mantenham competitivas no mercado. Segundo Kotha (1995), existem três razões principais para esta transformação, sendo elas: em primeiro, o surgimento de novas tecnologias de produção que permitem a elaboração de produtos variados com mais flexibilidade; em segundo, o rápido avanço tecnológico e o encurtamento do ciclo de vida dos produtos que conduzem a um aumento significativo de variedade de produtos; por último, as alterações da procura dos clientes, onde se regista um aumento na procura por produtos com mais variedade, mais funcionalidades e com uma qualidade mais elevada. Deste modo, verifica-se uma procura acentuada de produtos mais personalizados com baixo prazo de entrega e alta qualidade, ou seja, mantêm as condições do paradigma da produção em massa, mas com a opção de personalização.

Perante estes acontecimentos, o paradigma de produção em larga escala foi contraposto com o aparecimento de um novo paradigma, a customização em massa (CM) – do inglês *Mass Customization*

(Pine, 1993). A CM tem como objetivo satisfazer as necessidades do cliente com a crescente variedade e personalização, sem um aumento correspondente do custo e do tempo de execução (Tseng & Jiao, 1996).

Da Silveira et al. (2001) definiu o conceito de CM como a habilidade de fornecer produtos ou serviços customizados através de processos flexíveis, em grandes volumes e com custos relativamente baixos. Este autor acrescenta ainda que a CM surgiu no fim dos anos 80 devido ao crescimento de processos otimizados e flexíveis em relação à qualidade e aos custos. O termo CM está, assim, associado a todo o tipo de estratégias de alta diversidade, personalização e produção flexível (Piller, 2004). Fogliatto et al. (2012) enfatiza ainda o facto de que o paradigma da CM é centrado no cliente, isto é, o foco são as preferências do cliente, em vez de um conjunto de produtos ou o uso de uma certa tecnologia.

Em termos práticos, a CM pode ser vista como uma abordagem que faz uso da tecnologia, de processos flexíveis e de estruturas organizacionais, com a finalidade de fornecer uma vasta gama de produtos que satisfazem as necessidades específicas de cada cliente, a um custo próximo dos artigos produzidos em massa (Thoben, 2003). Atente-se que este modelo não deve ser confundido com o modelo *custom-made*, pois mesmo que as empresas escolham seguir a estratégia de CM, estas produzem relativamente em grande escala, sendo que cada produto é um pouco diferenciado tendo por base as necessidades e desejos de cada cliente final.

A mudança para o paradigma da CM já foi realizada por várias empresas, numa tentativa de fornecer um valor único para os seus clientes de uma forma eficiente (Gilmore & Pine, 1997). Ademais, este paradigma permite que as empresas se diferenciem num mercado altamente competitivo e segmentado (Da Silveira et al., 2001).

A CM pode oferecer um conjunto de benefícios significativos tanto para as organizações como para os clientes. Segundo Wind & Rangaswamy (2001), o principal benefício, do ponto de vista do cliente, é a capacidade de este encontrar e/ou conceber produtos e serviços que satisfaçam as suas necessidades. Isto é, o cliente tem a possibilidade de especificar o produto através de opções pré-determinadas e obter um produto que se ajusta melhor às suas necessidades (Gomes et al., 2011). Relativamente às empresas, estas conseguem várias vantagens, como uma redução substancial de inventário, otimização da produção através de processos mais flexíveis, estimulação da melhoria contínua, informação mais precisa sobre as alterações das necessidades dos clientes, pela participação destes nos projetos e obtendo, assim, uma capacidade de resposta mais rápida, trazendo maior satisfação aos clientes e aumentando a lealdade destes (Radder & Louw, 1999; Wind & Rangaswamy, 2001; Gomes et al., 2011).

Deste modo, as empresas que adotam a CM conseguem alcançar desempenhos superiores e esta estratégia pode constituir uma fonte de vantagem competitiva (Kotha, 1995; Blecker & Friedrich, 2006). No entanto, o simples reconhecimento dos benefícios não significa necessariamente uma implementação bem-sucedida da estratégia e, esta pode também acarretar custos de produção desnecessários e mais complexidade (Gilmore & Pine, 1997; Blecker & Friedrich, 2006).

Segundo Blecker & Friedrich (2006); existem dois tipos de dificuldades na implementação da CM, designados de complexidade externa e interna. A complexidade externa refere-se à incerteza dos clientes relativa à personalização dos seus produtos. O principal motor para a implementação da CM é o cliente, e se este não procurar por bens individualizados, a estratégia não terá sucesso. Ainda, se a procura for incerta, é difícil para as empresas fazer corresponder com precisão a oferta à procura, tornando os processos mais dispendiosos e menos responsivos (Liu et al., 2012). Por outro lado, a complexidade interna diz respeito aos problemas enfrentados pela empresa devido à extensa variedade de produtos induzida pela CM.

Este paradigma contribui para um aumento da diversidade total de produtos acabados, semiacabados e matérias-primas, aumentando desta forma a quantidade de informação sobre os artigos da empresa, que resulta num problema para os sistemas de informação (Hegge & Wortmann, 1991). Deste modo, para conseguir lidar com a CM e o seu aumento de informação, eficazmente e eficientemente, as empresas precisam de melhorar a sua capacidade de processar informação (Liu et al., 2012).

Os modelos de gestão mais tradicionais, como os da produção em massa, em que cada artigo possui uma referência única, com uma lista de materiais e um uma gama operatória, tornam-se incapazes de responder a estes novos requisitos (Gomes et al., 2009). Deste modo, torna-se imprescindível ter um sistema flexível, reconfigurável e capaz de integrar toda informação.

Para isso, recorre-se a uma abordagem mais genérica de representar informação dos artigos, a referência genérica, que tem como intuito diminuir o esforço e a complexidade na gestão da informação dos produtos e da produção (Gomes et al., 2009). Este modelo representa os artigos em grupos, considerando as suas características, a lista de materiais e a gama operatória, e será mais aprofundado na seção 2.4.4 – Modelos de Referência de Artigos.

De acordo com Tseng et al. (2017), é de extrema importância a disponibilidade de um sistema de produção flexível que ajude as empresas a responder rapidamente às alterações dos designs dos produtos e do mercado. Além disso, o sistema deve estar incorporado com tecnologias de informação

modernas, bem como ferramentas de produção flexíveis ou reconfiguráveis, para reduzir o tempo de resposta desde o design de um novo produto até à rampa de produção.

Para além disto, para atingir a CM é necessário um esforço multidisciplinar, onde todas as áreas funcionais de uma empresa devem estar alinhadas nos seus objetivos, ter acesso à informação e atuar de forma sistemática para conseguir produzir produtos customizáveis de forma rápida e rentável. Por conseguinte, a integração da área da produção com outras funções empresariais é fundamental para alcançar a CM (Liu et al., 2012).

2.3 Sistemas de Informação e Indústria 4.0

Os sistemas de informação e as tecnologias estão a transformar globalmente o ambiente empresarial. Esta mudança tem vindo a crescer nas últimas décadas e tem afetado todas áreas, tais como a gestão das finanças e contabilidade, os recursos humanos, a manutenção, o desenvolvimento de novos produtos e o planeamento e controlo da produção. A introdução dos sistemas de informação tem reformulado as organizações devido à eliminação de tarefas realizadas por pessoas, à mudança de certas tarefas e criação de outras novas (Bertrand Will & Wortmann, 1992). Para além disto, os sistemas de informação permitem às empresas melhorar a sua eficiência e eficácia e ainda, ganhar vantagem competitiva (Thong, 1999).

Atualmente, existe cada vez mais uma interdependência entre os sistemas de informação de uma empresa e a sua capacidade de implementar estratégias empresariais e atingir os seus objetivos. Um sistema de informação pode ser definido como um conjunto de componentes inter-relacionados que recolhem, processam, armazenam e fornecem informação para auxiliar a tomada de decisões e o controlo numa organização. Ademais, os sistemas também são capazes de prestar ajuda aos gestores e trabalhadores na análise de problemas, no tratamento de assuntos complexos e na criação de novos produtos. Assim, os sistemas de informação contêm informação relevante sobre a organização e o meio que a rodeia (Laudon & Laudon, 2018).

Um SPCP faz parte de um sistema de informação, de onde se pode destacar informação relativa a materiais, máquinas, pessoas e fornecedores. Os objetivos destes sistemas são conseguir satisfazer as necessidades do mercado e dar resposta aos requisitos impostos pela estratégia da empresa. Assim sendo, um SPCP eficiente pode oferecer vantagens competitivas à organização no mercado onde se encontra inserida. Para além disto, devido ao aparecimento de novos desafios como o progresso tecnológico em constante mudança, a globalização, mercados voláteis e a pressão de competitividade,

obrigam as empresas a redefinir o seu processo de produção e as suas estratégias, para estas se tornarem mais adaptáveis e capazes de interligar toda a cadeia de valor, e, assim, permanecer competitivas. Estes desafios também se traduzem para os SPCP, onde mudanças também são requeridas (Usuga Cadavid et al., 2020; Zangiacomi et al., 2020).

Neste subcapítulo são abordados os sistemas de informação bem como a sua evolução histórica, no contexto da gestão da produção. Posteriormente são descritos, de forma sucinta, os sistemas relacionados com a Indústria 4.0 e os conceitos agregados a estes.

2.3.1 Evolução dos Sistemas de Informação

Os SPCP existem desde a época da revolução industrial e, a partir daí, têm sofrido evoluções históricas devido aos avanços tecnológicos e da própria indústria. Estas apontam num sentido de aumento progressivo relativamente à integração entre processos (Rondeau & Litteral, 2001; Lima, 2013). A evolução dos sistemas encontra-se ilustrada na Figura 5.

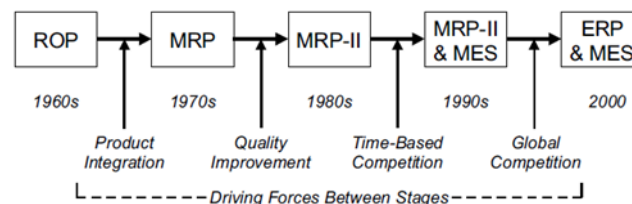


Figura 5 – Esquema com a evolução dos SPCP (Rondeau & Litteral, 2001)

Os primeiros sistemas de informação correspondiam aos sistemas de ponto de reencomenda (ROP – *Reorder Point Systems*), os quais se baseavam nos níveis de procura passados para determinar a procura futura e, assim que o nível de inventário descesse de um nível pré-determinado, eram criados pontos de encomenda, ou era encomendado mais material, ou eram lançadas novas ordens de produção (Rondeau & Litteral, 2001).

Com o aparecimento dos computadores e a sua aplicação empresarial, nos anos 60, iniciou-se o desenvolvimento do cálculo de necessidades de materiais em função da procura de produtos finais e os sistemas ROP começaram a ser substituídos pelos sistemas de Planeamento de Necessidades de Materiais (MRP – *Materials Requirement Planning*). O MRP calculava as necessidades de componentes e matérias-primas para os produtos finais, de modo a obter a quantidade correta de materiais no momento certo. Os sistemas MRP apresentavam uma clara vantagem relativamente aos anteriores, pois ofereciam uma abordagem preditiva baseada na procura. Ademais, esta abordagem permitiu que os níveis de inventário se mantivessem mais nivelados (Rondeau & Litteral, 2001; Lima, 2013).

O sistema MRP centrava-se na gestão de materiais e com o tempo foi evoluindo com a finalidade de atender também aos processos inerentes da produção, dando origem ao sistema de Planeamento de Recursos de Produção (MRP II - *Manufacturing Resource Planning*) na década de 80. Assim sendo, os sistemas MRP II foram construídos sobre o planeamento das necessidades de materiais dos sistemas MRP, acrescentando-lhes o planeamento das necessidades de capacidade. Deste modo, os sistemas MRP II integravam tanto o planeamento de materiais como o de capacidade e as suas restrições, na gestão da produção, considerando as necessidades de capacidade no lançamento de ordens de produção. Adicionalmente, estes sistemas tinham alguma capacidade de controlo de chão de fábrica e integração com as áreas de gestão financeira, gestão comercial e gestão de recursos humanos (Rondeau & Litteral, 2001; Lima, 2013).

Segundo Rondeau & Litteral (2001), no início dos anos 90 surgiram sistemas MES (*Manufacturing Execution Systems*) para solucionar os problemas de interface existentes entre o MRP II e o controlo do chão de fábrica. Os sistemas MES permitem flexibilidade, execução em tempo real, feedback e controlo sobre os processos de produção para satisfazer melhor as necessidades do mercado futuro. Apesar da introdução destes sistemas, o aumento da competitividade a nível global e das mudanças tecnológicas fez com que as empresas repensassem e reinventassem a sua estrutura organizacional e com ela, os seus sistemas de informação. Deste modo, ainda nos anos 90, surgiram os sistemas ERP (*Enterprise Resource Planning*).

Um sistema ERP integra funções de produção, finanças e contabilidade, vendas e marketing, e recursos humanos num único software, isto é, numa única base de dados comum (Lima, 2013; Laudon & Laudon, 2018). Ganesh et al. (2014) acrescenta que as funções podem ser agrupadas em diferentes módulos e que estes podem gerir-se independentemente uns dos outros. No entanto, é quando estes módulos estão integrados que se obtém uma visão unificada da organização. Isto acontece se existir uma base de dados comum, a base de dados da empresa. Na Figura 6 pode ser observada uma ilustração das diferentes áreas abrangidas por um sistema ERP e a descrição de algumas das suas funcionalidades. Adicionalmente, estes sistemas podem ser complementados com sistemas de gestão da cadeia de fornecimento (SCM) e de gestão de relacionamento com o cliente (CRM), tendo vindo a estender-se entre os fornecedores e os clientes finais através destes (Parthasarathy, 2007; Lima, 2013).

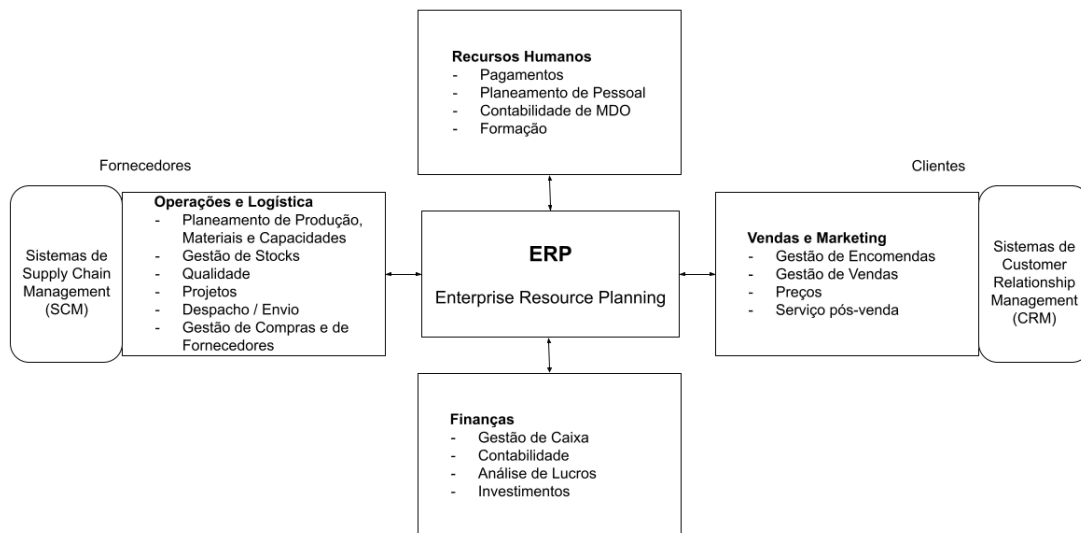


Figura 6 - Representação de um sistema ERP (Sistema de Gestão Empresarial)
Adaptado de Lima (2013)

O uso de um sistema ERP traz inúmeros benefícios diretos e indiretos. Os benefícios diretos incluem maior eficiência, flexibilidade, melhor capacidade de planeamento e de análise, integração da informação que possibilita tomar decisões melhores, um tempo de resposta mais rápido ao cliente, e melhora a comunicação ao longo da cadeia de valor. Alguns exemplos dos benefícios indiretos são a melhoria da organização como um todo e da sua imagem corporativa, bem como o aumento da satisfação dos clientes (Rondeau & Litteral, 2001; Parthasarathy, 2007).

Tal como os sistemas MRP II, os ERP são normalmente integrados com os sistemas MES, para o controlo e execução da produção. As tarefas principais dos sistemas MES são o planeamento de processos de produção e reportar o estado atual das ordens de produção que se encontram no chão de fábrica, em tempo real. Normalmente os ERP já têm incluídos módulos referentes aos MES (Rondeau & Litteral, 2001; W. Liu et al., 2002; Kucharska et al., 2015).

Os sistemas de informação referidos incluem somente ferramentas comuns de apoio à programação da produção, estando limitados às técnicas básicas de sequenciação. Estes problemas de programação da produção são muitas das vezes demasiado complexos, por isso os sistemas mencionados anteriormente podem ainda ser complementados com os sistemas APS (*Advanced Planning and Scheduling*) (Krenczyk & Jagodzinski, 2015). Os sistemas APS contêm funções de planeamento e programação a curto prazo e utilizam algoritmos avançados para gerar planos de sequenciação ótimos, em tempo real, tendo em conta as capacidades operacionais da empresa e a disponibilidade de materiais. Para além disto, estes sistemas têm capacidades mais analíticas comparativamente com os ERPs e suportam a tomada de decisão. Para que os sistemas APS funcionem e tenham um bom desempenho, estes devem comunicar constantemente com os sistemas ERP e MES (W. Liu et al., 2002; Kucharska et al., 2015).

2.3.2 *Smart Manufacturing Systems* e Indústria 4.0

Os sistemas de produção estão a evoluir para conseguir responder às mudanças rápidas e constantes das necessidades dos clientes a produtos personalizados. O ambiente de alta competitividade está a exigir às empresas uma redução dos ciclos de vida dos produtos, uma elevada utilização dos recursos e prazos de entrega cada vez mais curtos. Deste modo, é visível a mudança para o paradigma de customização em massa, a qual se torna um dos objetivos da empresa. Para atender a estes requisitos, os sistemas de informação devem-se adaptar e incorporar diversas características, tais como inteligência, agilidade e flexibilidade (Caridi & Cavalieri, 2004; Modrak & Bednar, 2016).

Para além disto, a evolução dos sistemas de produção está relacionada com a própria evolução da tecnologia, a qual tem aumentado de forma muito acentuada nas últimas décadas. Esta convergência da produção industrial com as tecnologias de informação e comunicação deram origem à era da quarta revolução industrial, também designada por Indústria 4.0 (Hermann et al., 2016; Xu, 2017). O termo Indústria 4.0 surgiu como uma iniciativa na Alemanha, para reforçar a competitividade nas indústrias, ao melhorar os processos industriais envolvidos em toda a cadeia de valor e dotar as empresas com as mais recentes tecnologias, tornando-as em fábricas inteligentes (Hermann et al., 2016; Zhong et al., 2017).

De acordo com Hermann et al. (2016), a Indústria 4.0 está intimamente relacionada com três conceitos: *Internet of Things* (IoT), *Cyber-Physical Systems* (CPS), e *Smart Factories*. A integração do conceito de IoT com os processos industriais permite a interação e cooperação entre objetos inteligentes, como máquinas, sensores, telemóveis, entre outros. Esta partilha de informação, realizada por tecnologia de ponta, influencia em muito o desempenho dos sistemas de produção (Zhong et al., 2017).

Relativamente aos CPS, estes monitorizam os processos físicos e criam uma cópia virtual do mundo físico, o chamado *digital twin* ou *cyber twin*. Assim, estes sistemas possibilitam o acesso a informação sobre o estado atual do sistema de produção e com base nestes dados, é possível avaliar o impacto que as decisões de planeamento e programação terão no futuro. Então, os CPS em conjunto com IoT permitem a tomada de decisões inteligentes através da comunicação em tempo real e cooperação com as pessoas, máquinas, sensores, entre outros (Zhong et al., 2017; Frazzon et al., 2018; Rossit et al., 2019).

Para além disto, ao integrar os CPS e a IoT surge o conceito de *Smart Factory*, sendo este termo definido como uma fábrica que assiste as pessoas e as máquinas na execução das suas tarefas, com base na informação disponibilizada tanto pelo mundo físico como pelo virtual. Assim, nas *Smart Factories*

emergem novas formas de organização e execução dos processos industriais ao conectar as pessoas, objetos (como máquinas e produtos) e informação (Hermann et al., 2016).

Aliado a estes termos, surge o conceito de *Smart Manufacturing*, ou *Intelligent Manufacturing*, que tem como propósito a otimização da produção e da transição dos produtos, através do uso de informação e das tecnologias mencionadas previamente. De forma a alcançar este conceito, são necessários sistemas de informação capazes de lidar com toda a informação disponível e comunicar com as tecnologias mais recentes, sendo estes designados de *Smart Manufacturing Systems* (SMS). Os SMS são considerados os sistemas de produção da próxima geração e podem ser obtidos através da adoção de novos modelos, novas formas e novas metodologias, de modo a transformar os sistemas tradicionais em sistemas inteligentes.

Da Indústria 4.0 derivam vários requisitos, aos quais um SMS tem de ser capaz de responder. Primeiramente, um SPCP deve utilizar tecnologias de informação, processos flexíveis e estruturas organizacionais para conseguir lidar com a grande diversidade de produtos e com a CM. Para além disto, os sistemas devem estar conectados, isto é, todos os sistemas informáticos e ativos de negócios, como equipamentos, sistemas de transporte e armazenamento, entre outros, devem estar interligados, para garantir a informação existente necessária para tomar decisões reflita as condições atuais (Martins, n.d.).

Outro requisito passa pela automação e sincronização de todas as atividades, com recurso a novos algoritmos de planeamento e rastreamento, com a mínima intervenção manual. Não é suficiente conectar todos os sistemas e entidades, o sistema também deve: (1) calendarizar, planear e sincronizar todas as atividades das entidades; (2) assegurar que todas as condições são satisfeitas para a execução das atividades planeadas; e (3) garantir que as entidades recebem a informação necessária para executar essas atividades. Agilidade é outro requisito proposto pela Indústria 4.0, e corresponde à capacidade de adaptação, em tempo real, para mudanças de planeamento e produtos, através da autoconfiguração dos equipamentos e dos fluxos de materiais (Martins, n.d.).

Os sistemas devem ainda ser flexíveis e adaptáveis, isto é, devem ter a capacidade para se adaptar a novos produtos, novos equipamentos e novos processos organizacionais e de produção. Ademais, o sistema deve ser proativo, ou seja, conseguir “prever o futuro”, de modo a antecipar problemas antes que estes surjam e, posteriormente, implementar medidas, em vez de atuar somente quando os problemas ocorrem. Por fim, o sistema deve ser transparente e permitir a visualização de dados personalizados em tempo real, como observação de alertas e notificações, rastreamento e monitorização (Martins, n.d.).

Em suma, os SMS pretendem responder aos requisitos da Indústria 4.0 e, para tal, estes sistemas são altamente personalizáveis, flexíveis, reconfiguráveis e capazes de integrar e lidar com toda a informação disponibilizada (Zhong et al., 2017; Mittal et al., 2019).

2.4 Gestão de Informação de Artigos

As empresas apostam cada vez mais na implementação de sistemas de gestão de informação de artigos para melhorar a sua capacidade de competitividade. Estes sistemas, mais conhecidos por *Product Data Management* (PDM), integram e gerem toda a informação relativa a produtos e processos industriais, desde a fase de design, à produção e ao suporte do cliente final (Liu & Xu, 2001). Isto significa que os sistemas PDM mantêm um registo de dados e de informações necessárias para conceber, produzir e, posteriormente, suportar e manter os produtos durante todo o seu ciclo de vida. Estes sistemas também podem fornecer apoio à modelação de processos a ser executados no sistema produtivo (Mesihovic & Malmqvist, 2000).

Segundo Siddiqui et al. (2004), os sistemas PDM realizam a gestão de informação dos produtos, ao longo de todo o ciclo de vida, de uma forma mais organizada e eficiente. Estes sistemas são assim capazes de armazenar os designs dos produtos em formato eletrónico, gerir o fluxo de trabalho ao controlar a informação de engenharia que pode ou não ser disponibilizada, rastrear todas as estruturas de produto possíveis e registar todas as estruturas relativas aos produtos expedidos. Ademais, o PDM auxilia os utilizadores, tais como engenheiros e outros, a gerir tanto informação como o processo de desenvolvimento dos produtos.

Deste modo, os sistemas PDM podem ser vistos como uma ferramenta de integração que faz a conexão de diferentes áreas de uma empresa e assegura que a informação correta se encontra disponível à pessoa correta, no momento correto, e na forma correta, em toda a empresa (Liu & Xu, 2001). Estes sistemas são complementares aos sistemas de produção, como aos ERP, sendo que estes últimos fazem uso da informação disponibilizada pelo PDM para realizarem as suas atividades. Assim, para que os sistemas ERP sejam implementados com sucesso e tenham um desempenho eficiente, estes precisam de estar integrados com sistemas PDM (Lee et al., 2011; Ostroukh et al., 2014).

A implementação de sistemas PDM permite reduzir o tempo de desenvolvimento de um produto e o tempo desde a encomenda, ao design, à produção e à expedição do produto (Mesihovic & Malmqvist, 2000). Estes sistemas trazem outros benefícios, como a melhoria da eficácia para os utilizadores devido ao acesso mais rápido num único sistema, a melhoria na adaptação a mudanças tardias no produto,

melhor qualidade do produto e maior rapidez e flexibilidade (Siddiqui et al., 2004). Adicionalmente, recorrendo às tecnologias mais recentes, é possível estabelecer uma conexão de informação num ambiente de diversidade, logo, os sistemas PDM são capazes de lidar com ambientes complexos, dinâmicos e de alta customização (Liu & Xu, 2001).

2.4.1 Artigo

O conceito de artigo pode variar de acordo com cada organização, ou mesmo dentro da mesma organização, por isso, é essencial definir claramente este conceito, tendo presente que este deve ser reconhecido dentro de uma organização.

Scheer (1994) indica que o termo artigo, em inglês *Part*, inclui os produtos finais, submontagens, componentes e matérias-primas. Os produtos finais são os artigos que não têm mais nenhum processo de transformação. As submontagens são constituídas por vários componentes e são utilizadas para produzir mais submontagens ou produtos finais. Os artigos designados por componentes são aqueles que são produzidos através de um único material, e os que são qualificados como matérias-primas são materiais simples, que normalmente não são produzidos dentro da organização.

Adicionalmente, segundo Martins (2008), um artigo é um conceito lógico ou um objeto físico e pode ser caracterizado através das suas propriedades ou atributos. Estes contêm informação relevante para distinguir artigos, e devem ser reconhecidos tanto pelas pessoas como pelos sistemas da organização. O código de identificação de um artigo, a sua descrição, a sua classe, a sua classificação ABC e o seu prazo de entrega são alguns exemplos de tipos de atributos (Scheer, 1994). Para além disto, a informação relativa aos atributos pode ser empregue em várias funções durante o planeamento da produção, tal como o atributo prazo de entrega no cálculo do MRP (Gomes, 2014).

2.4.2 Lista de Materiais

A lista de materiais, do inglês, *Bill of Materials* (BOM), é um dos principais elementos de uma organização porque contém informação base sobre todos os produtos e é transversal a todos os departamentos da organização. A informação disponibilizada pela BOM é essencial para o design do produto, planeamento e gestão da produção, controlo de inventário e orçamentação e custeio numa empresa (Trappey et al., 1996). Segundo Rusk (1990), originalmente a BOM tratava-se de uma lista simples com os componentes necessários para produzir um único produto final.

Uma BOM é assim definida como uma lista com todos os artigos, submontagens, componentes intermediários e matérias-primas que são utilizados na fabricação de um produto “pai”, mostrando as

quantidades necessárias de cada item e as relações existentes entre os artigos “filho” e os artigos “pai” (Van Veen & Wortmann, 1992; Cunningham et al., 1996; Fragoso et al., 2015).

Deste modo, uma BOM é formada pelos artigos e a estrutura de produto com as respetivas relações de estrutura (Lima, 2013). Segundo este autor, os artigos podem ser as matérias-primas, os componentes intermédios processados na empresa, e os produtos finais. Relativamente à estrutura de produto, esta permite representar os artigos consumidos para produzir um artigo “pai” e as relações de estrutura permitem modelar a estrutura hierárquica que reflete o percurso de produção do produto.

Assim sendo, para representar esta estrutura é necessária a informação do código do artigo “pai”, o código dos artigos “filho” e a quantidade necessária para produzir uma unidade do artigo “pai”. Para além disto, numa BOM os artigos podem ser caracterizados com mais informação, desde a sua descrição e unidade de medida, e outros atributos, como prazo de entrega, stock de segurança, custo standard, entre outros.

Num SPCP, as BOM são utilizadas para várias funções, tais como identificação de produtos e avaliação de eventuais mudanças, cálculo de custos com precisão, controlo de inventário, determinação das necessidades de materiais e realização da programação da produção com uma carga ótima (Rusk, 1990). Mais detalhadamente no âmbito do PCP, uma BOM, em conjunto com o programa diretor de produção, identifica os artigos para os quais é necessário emitir requisições de compra e/ou ordens de produção para corresponder ao definido no planeamento de necessidades de materiais (Lima, 2013).

Ao nível de estruturas de representação, as BOM podem ser representadas de diversas formas, tais como elementos gráficos, listas indentadas, ou matrizes (Lima, 2013). No entanto, a forma mais comum e tradicional de visualizar uma BOM é através da árvore invertida de produto (Figura 7).

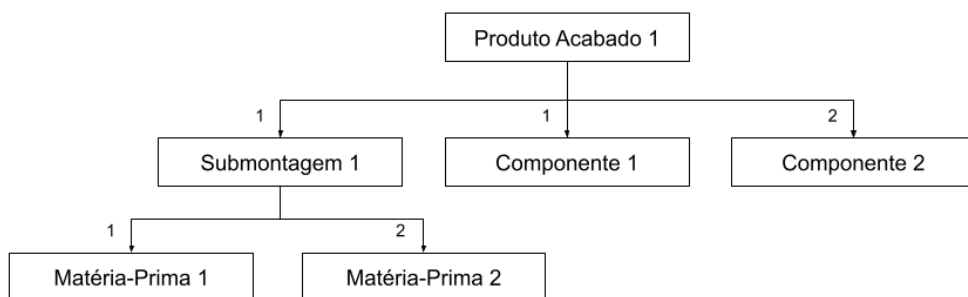


Figura 7 – Representação de uma BOM com estrutura em árvore

2.4.3 Gammas Operatórias

Para produzir um produto final é necessário ter conhecimento sobre as operações específicas que irão ser realizadas e a sua sequência. Na realidade, uma BOM já contém alguma informação sobre a

sequência de operações, visto que cada artigo resulta da execução de um tipo de operação ou de um conjunto de operações. Então, a produção de um produto decorre da execução destas operações durante um determinado tempo, sendo esta informação registada como uma lista de operações e o consumo de cada operação, respetivamente (Lima, 2013).

Uma gama operatória (*Bill of Operations* – BOO) representa a sequência de operações para obter um dado produto e normalmente é apresentada através de um diagrama de fluxo. Uma BOO é ainda capaz de mostrar mais informação, como os centros de trabalho onde se realizam as operações, a mão-de-obra requerida e os momentos de *setup* (Jiao et al., 2000). Esta informação é relevante para o planeamento da produção, nomeadamente para a técnica de CRP, e para a programação da produção, para escalonar as operações de uma ordem de produção (Lima, 2013).

2.4.4 Modelos de Referenciação de Artigos

A informação presente dos sistemas PDM pode ser modelada de várias formas, seguindo diferentes modelos de representação de artigos. No contexto dos SPCP, estes modelos têm como objetivos identificar e caracterizar artigos e operações, e definir BOMs e BOOs. Segundo Gomes et al. (2009), estes modelos podem ser classificados em duas categorias.

- Categoria 1: Modelos de referenciação direta, nos quais os artigos são identificados de forma independente e individual, e cada um tem uma BOM e uma BOO.
- Categoria 2: Modelos de referenciação genérica, onde grupos de artigos são tratados como uma única referência genérica, e para cada referência é atribuída uma BOM e uma BOO.

Os modelos mais utilizados nos sistemas de informação são os modelos de referenciação direta, também denominados de modelos tradicionais ou convencionais (Gomes et al., 2009). Nestes modelos, cada artigo é representado através de um único código de identificação que reconhece de forma clara cada artigo numa organização (Figura 8), e o mesmo acontece para cada tipo de operação. Ainda, a cada artigo está associada uma única BOM e uma única BOO (Hegge & Wortmann, 1991; Gomes et al., 2009; Gomes et al., 2011). Deste modo, quando um novo artigo é acrescentado à população, é necessário atribuir-lhe um novo código de identificação, um conjunto de valores para o caracterizar e classificar, e construir a sua BOM e BOO, tornando o processo de inserção de dados muito exigente e demoroso (Gomes, 2014).

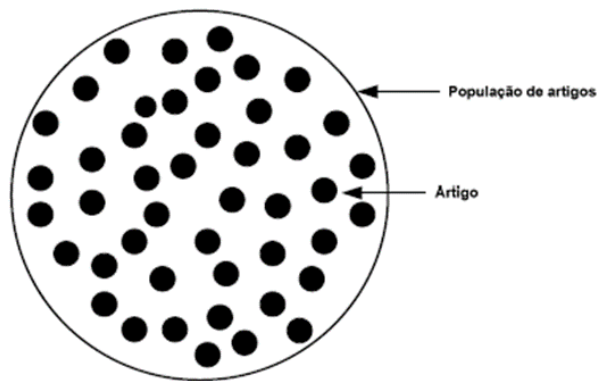


Figura 8 - Representação de uma população de artigos e artigo específico (Gomes, 2014)

Os SPCP adotam este tipo de representação de artigos pela sua simplicidade, facilidade de utilização e o seu carácter generalista. Porém, em ambientes de alta diversidade, estes modelos requerem muito esforço na representação e tornam-se incapazes de lidar eficientemente com a explosão de informação de artigos. Assim, para ultrapassar este desafio, surgiram os modelos de referência genérica (Gomes et al., 2011; Gomes, 2014).

Nestes modelos, a população de artigos é dividida em grupos que partilham propriedades similares, sendo estes denominados de famílias de produtos ou referências genéricas (Figura 9) (Gomes et al., 2011). Cada referência genérica pode ter associado um conjunto de propriedades ou parâmetros que a caracterizam, e cada parâmetro pode assumir um conjunto de valores possíveis. Deste modo, um artigo específico, também designado de variante, é definido através da seleção de um valor específico para cada parâmetro (Olsen & Sætre, 1998).

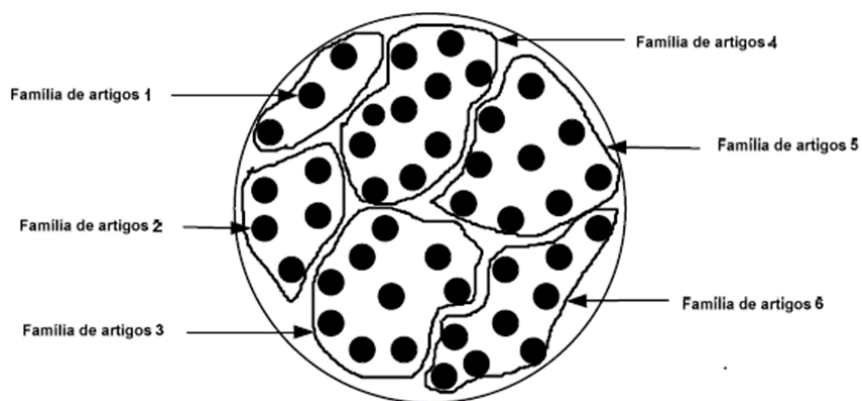


Figura 9 – Representação de uma população de artigos com as respetivas famílias (Gomes, 2014)

Adicionalmente, neste modelo de referência, a BOM e a BOO não são criadas para um artigo específico, mas para um produto genérico, isto é, uma família de artigos ou uma referência genérica, e este tem associado a um conjunto de parâmetros. Assim, todos os artigos específicos pertencentes a uma referência genérica partilham da mesma BOM e BOO, também designadas de lista de materiais

genérica (GBOM) e gama operatória genérica (GBOO), respetivamente. A BOM e a BOO podem ser geradas para cada variante quando necessário, resultante da atribuição de valores a cada parâmetro da referência genérica (Gomes et al., 2009; Gomes, 2014).

Posto isto, com este modelo é possível criar uma única estrutura válida para todas as variantes de uma família de artigos, que é altamente transparente e permite evitar redundâncias (Hegge & Wortmann, 1991). A referenciação genérica apresenta então uma grande capacidade de representação e flexibilidade, sendo um meio eficaz para lidar com o aumento da diversidade de produtos, devido ao aparecimento do paradigma de CM (Gomes et al., 2011).

Posteriormente, neste trabalho será aprofundado o modelo de referenciação genérica desenvolvido no Departamento de Produção e Sistemas da Universidade do Minho, o GenPDM, que se encontra integrado no sistema GenSYS.

2.5 Co-produção

O crescimento da CM e da flexibilidade de produtos em muitas organizações têm criado um impacto no design de produto, nos processos produtivos e nos SPCP, evidenciando a importância das funções de uma BOM (Vegetti et al., 2002). Isto têm motivado vários investigadores a focarem-se na representação e desenvolvimento de BOMs mais complexas.

Uma BOM, como já foi referido anteriormente, é uma lista de artigos, desde matéria-prima a componentes intermediários, necessários para produzir um produto final, o produto “pai”. Nesta lista, são apresentadas as quantidades requeridas de cada artigo “filho” para produzir um artigo final e a sequência hierárquica em que o produto é criado (Chang et al., 1997).

Uma BOM convencional indica a relação entre os componentes “filho” e o produto “pai” segundo uma estrutura convergente, onde os componentes “filho” se unificam para produzir um produto final, que se encontra no topo da estrutura (Crama et al., 2001; Garcia-Sabater et al., 2013). Seguindo esta estrutura, um processo produtivo tem vários inputs, os componentes “filho”, e um único output, o produto “pai”. Na Figura 10 em a) pode ser observado um diagrama do processo produtivo descrito anteriormente, e em b) a estrutura de uma BOM convencional.

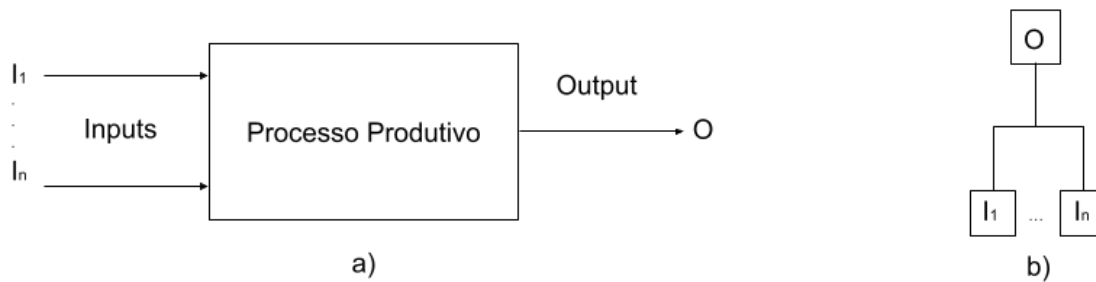


Figura 10 – a) Diagrama do processo de transformação; b) BOM convencional

No entanto, nas indústrias de manufatura existem outros processos capazes de produzir vários produtos simultaneamente, designados de co-produção (Garcia-Sabater et al., 2013). De acordo com Silva et al. (2003), este tipo de produção é capaz de representar dois ou mais produtos decorrentes do mesmo processo até a um ponto de separação, no qual os produtos são separados e podem ser identificáveis. A Figura 11 demonstra um diagrama do processo produtivo de co-produção, com um input de um ou mais artigos e um output de vários produtos finais.

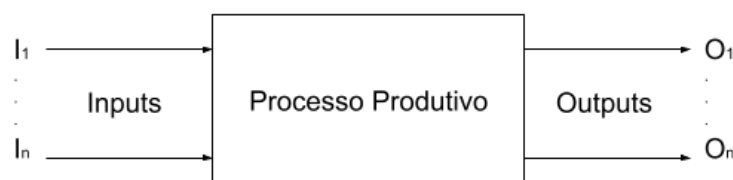


Figura 11 – Diagrama do processo de transformação com múltiplos outputs

Para Cardós & Miralles (2007), a produção de vários produtos finais pode ser encontrada no mundo industrial quando existe uma classificação final de artigos, um processo químico como destilação, o corte de várias peças em simultâneo e um processo de desmontagem. A classificação acontece no fim do processo produtivo de onde resultam vários produtos, que são posteriormente analisados e classificados em diferentes produtos. A indústria da cerâmica pode ser um exemplo deste processo, onde no final do fabrico dos azulejos, estes são inspecionados e classificados segundo a sua qualidade (primeira classe, *standard*, segunda classe), o seu tom de cor e as suas dimensões. Relativamente aos processos químicos de destilação, estes estão presentes nas indústrias químicas, nas refinarias de petróleo, entre outros (Lambert et al., 2000; Loos, 2001; Vegetti et al., 2002).

O processo de corte é mais um exemplo da co-produção, pois deste processo podem ser obtidos diferentes produtos, simultaneamente, a partir da mesma matéria-prima. Este tipo de processo de corte pode ser detetado nas mais diversas indústrias, como por exemplo, no corte de pedra, metal, madeira, entre outros (Gupta & Taleb, 1994; Cardós & Miralles, 2007; Garcia-Sabater et al., 2013). Por fim, os processos de desmontagem ou de reparação/recuperação também podem gerar vários produtos finais, com o objetivo de os recuperar ou eliminar, como na indústria eletrónica. Estes tipos de operações têm

tido cada vez mais importância, devido ao aumento da consciencialização ambiental e às regulações do processo de reciclagem (Gupta & Taleb, 1994; Cardós & Miralles, 2007; Oltra-Badenes et al., 2019).

Nestes casos, as estruturas do produto são divergentes, ao invés de convergentes, refletindo uma operação capaz de produzir e gerar simultaneamente vários co-produtos ou subprodutos, do inglês *co-products* e *by-products* (Crama et al., 2001; Garcia-Sabater et al., 2013). Como resultado, as BOMs tiveram de ser alteradas de forma a incluir a entrada e saída de vários produtos (Cardós & Miralles, 2007), como demonstrado na Figura 12. Os inputs de I_1 a I_n são processados, produzindo os produtos O_1 a O_n , simultaneamente.

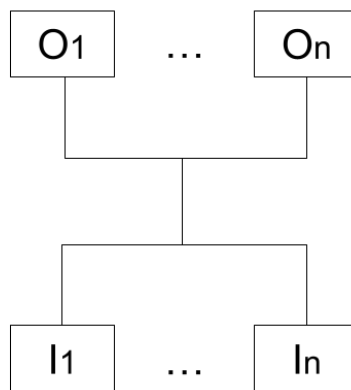


Figura 12 – Representação de uma BOM divergente

Assim sendo, quando existe a geração de co-produtos ou subprodutos, as BOMs passam a ser designadas por *Reversed BOMs* - BOMs revertidas. Segundo Garcia-Sabater et al. (2013), as BOMs revertidas são utilizadas quando um produto dá origem a dois ou mais produtos através do processo de transformação. Deste modo, este tipo de processo não considera produtos a serem montados, mas produtos a serem desmontados ou separados. Seguindo este raciocínio, as estruturas do produto tendem a ser representadas inversamente às estruturas convencionais.

Por conseguinte, o processo de desmontagem requer uma estrutura invertida ao processo de montagem. Nas BOMs convencionais, os componentes que entram no processo produtivo são consumidos durante o curso do trabalho. Numa BOM de desmontagem, os componentes que resultam do processo são devolvidos e entram em armazém. Na Figura 13, pode ser observado um exemplo de uma estrutura para a montagem e de uma estrutura invertida para a desmontagem, retirada de Gupta & Taleb (1994).

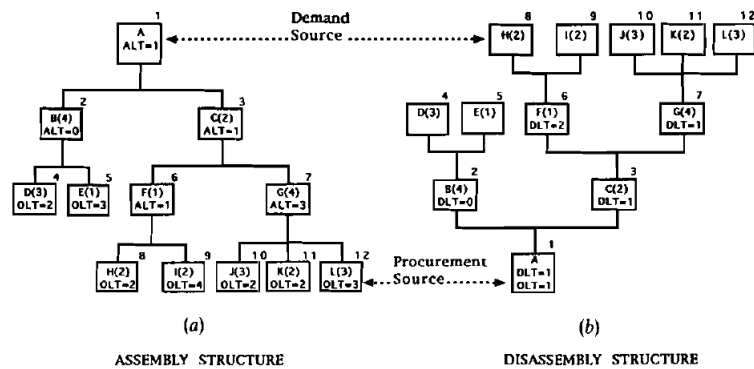


Figura 13 – a) Representação de um BOM convencional; b) Representação de uma BOM divergente (Gupta & Taleb, 1994)

Na literatura pode-se encontrar outros termos para mencionar as BOMs invertidas, como BOM divergente, *by-product* BOM e *co-product* BOM (Fransoo & Rutten, 1994; Crama et al., 2001). Adicionalmente, conforme Vegetti et al. (2002), o conceito de família de produtos pode ser aplicado neste género de estruturas.

É importante que uma BOM consiga reconhecer o retorno de co-produtos ou subprodutos. De acordo com Fransoo & Rutten (1994), estes artigos podem ser incluídos numa BOM ao atribuir-lhes uma “quantidade negativa”, que significa que esses produtos entram em armazém, resultando num aumento de inventário. Isto implica programar entradas em inventário com recurso a quantidades negativas, isto é, “-1 unidade” de um componente é utilizado, indicando que 1 unidade entra realmente em inventário (Oltra-Badenes et al., 2019).

No entanto, esta não é a melhor solução para resolver o problema de reconhecimento de subprodutos. Duncan (1983) desenvolveu uma BOM para representar o retorno de subprodutos, que liga os processos bem como os componentes, e cada processo pode ter os mais variados outputs independentemente do número de inputs. Este autor define o processo como um *task-item*, onde entram vários componentes e são obtidos um ou mais componentes processados. As principais características deste tipo de BOM são a capacidade de lidar com múltiplos outputs e múltiplos inputs e a possibilidade de agrupar vários níveis da BOM de forma a obter um *task-item*.

Crama et al. (2001) apresenta a estrutura *State-Task Network* para lidar com operações que consomem vários artigos e retornam diversos co-produtos, ao mesmo tempo e em quantidades fixas. Esta estrutura está dividida em dois tipos de nodos, os *state nodes*, que representam os materiais, e os *task nodes*, que representam os processos produtivos (Figura 14).

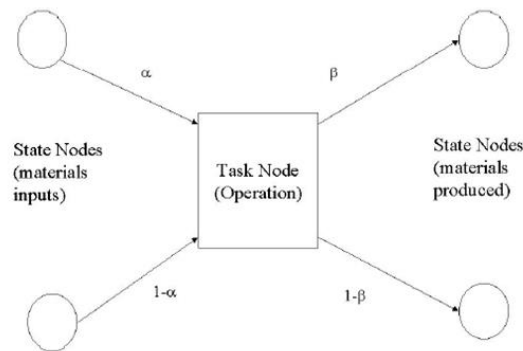


Figura 14 – Representação de uma BOM com co-produtos (Crama et al., 2001)

Outro tipo de problemas que surge com o aparecimento de estruturas divergentes ocorre no cálculo do MRP, designado também por *Reverse MRP* (Gupta & Taleb, 1994). Estes autores propuseram um algoritmo para calcular o *Reverse MRP*. Este é, então, utilizado quando se pretende saber a quantidade necessária e em que período os artigos de entrada são precisos para satisfazer a procura dos vários componentes.

Para além disto, Cardós & Miralles (2007) referem que com o aparecimento de BOM reversas, as ordens de produção são diferentes das convencionais. Segundo estes autores, estas ordens de produção são diferentes pois não se expressam com base nos produtos finais, mas em termos do processo produtivo representado por um artigo fictício denominado de “artigo de planeamento” (*planning article*) (Figura 15). Perante este modelo, a lógica do MRP deve ser alterada de forma a juntar as necessidades líquidas dos artigos finais, obtendo as necessidades para o “artigo de planeamento”, para depois lançar as ordens de produção deste artigo.

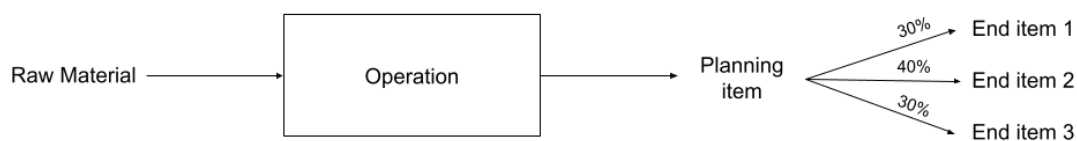


Figura 15 – Representação de um “artigo de planeamento” Adaptado de Cardós & Miralles, (2007)

2.6 Planos de Corte

O processo de corte está presente nos mais diversos tipos de indústria, desde o corte de tecido, vidro, aço, madeira, papel, entre outros. Antes de executar a operação de corte, existe uma etapa de preparação que consiste na elaboração de planos de corte. Estes são esquemas compostos pelos moldes das peças a cortar numa determinada área, correspondente à área disponível da matéria-prima.

Para gerar um plano de corte é necessário ter em consideração um conjunto de dados de entrada, sendo estes o inventário de objetos disponíveis a serem consumidos, informação relativa às peças a serem extraídas da matéria-prima, chamadas de itens, e um conjunto de parâmetros (Mendes et al., 2015). Neste caso, um objeto representa a matéria-prima disponível, a qual pode ser classificada como *standard*, se ainda não tiver sido submetida ao processo de corte, ou retalho, se já for uma sobra de um processo de corte com dimensões suficientes para voltar ao stock e ser utilizada no futuro.

De forma a manterem-se competitivas no mercado e reduzirem os custos, as empresas são estimuladas a encontrar um aproveitamento ótimo da matéria-prima, já que o custo desta representa grande parte do preço final do produto, particularmente na indústria metalomecânica (Rao et al., 2007). Tendo, então, como desafio obter uma disposição ótima das peças a cortar.

Este problema de corte de peças é apresentado na literatura como *Cutting Stock Problem* - CSP. O objetivo deste problema é determinar como cortar um conjunto de itens utilizando um conjunto de objetos maiores disponíveis em stock, tendo em perspectiva a procura específica das peças cortadas e a minimização de perdas de material (Erjavec et al., 2009).

Os CSP são problemas de programação linear inteira, cuja resolução não é simples e em geral não existe uma solução ideal. No entanto, vários artigos foram publicados sobre esta temática, tendo sido propostas diversas heurísticas para tratá-lo (Maimon & Dayagi, 1995; Turi & Hino, n.d.).

Os planos de corte podem ser caracterizados pela sua dimensionalidade, isto é, pelo número de dimensões relevantes para descrever a sua geometria. Assim, a abordagem ao CSP depende da dimensionalidade do problema, embora as dimensões mais frequentes sejam a unidimensional e a bidimensional (Turi & Hino, n.d.).

O corte unidimensional (1D) é feito apenas numa direção, onde a secção transversal é pré-determinada e fixa, e o parâmetro de corte é apenas o comprimento (Figura 16) (Silva, 2008). Este corte pode ser encontrado, por exemplo, na indústria de bobines de aço e rolos de papel.



Figura 16 – Representação de um plano de corte 1D
(Nirvanatec, n.d.)

O corte é considerado bidimensional (2D) quando as peças são cortadas em duas dimensões, a partir de objetos também de duas dimensões (Galvez, 2014). As características geométricas dos itens podem ser regulares (Figura 17a) ou irregulares (Figura 17b). Exemplos disto é o corte de tecido, placas de vidro, metal ou madeira.

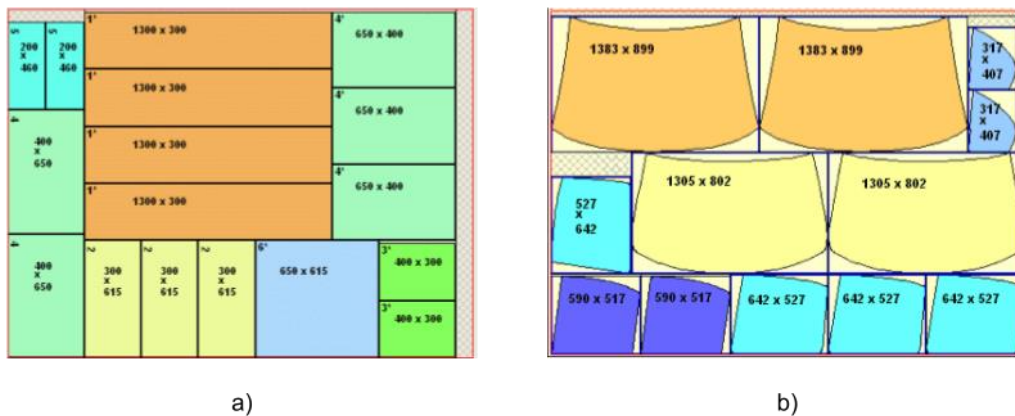


Figura 17 – Representação de um plano de corte 2D em a) regular e em b) irregular (Nirvanatec, n.d.)

Estes problemas do corte são também conhecidos por *nesting problems*. Estes consistem em cortar objetos maiores com geometria regular ou irregular, com a finalidade de produzir peças cuja geometria também pode ser regular ou irregular, da forma mais eficiente possível e de modo a minimizar o desperdício de material (Chrysolouris et al., 2000; Rao et al., 2007).

Assim, o processo de determinar quais os itens a serem cortados, qual a sua posição e orientação específica na matéria-prima é denominado de *nesting planning* (Maimon & Dayagi, 1995). Normalmente o *nesting* é feito recorrendo a um *software*, e a solução encontrada é chamada de *nesting layout* ou de *cutting pattern*, padrão de corte (Niemi, 2003). Neste caso, um plano de corte é um conjunto de padrões de corte associados à frequência com que tem de ser cortados (Mendes et al., 2015).

Existe uma oferta muito grande no mercado de *softwares* de *nesting* e estes trazem alguns benefícios como (Schaeffer et al., 2012):

- Maior produtividade no desenvolvimento dos planos de corte;
- Redução do desperdício de matéria-prima;
- Melhor gestão e controlo do stock de matéria-prima.

3. EMPRESA GENSYS

Neste capítulo é apresentada a empresa na qual a presente dissertação foi desenvolvida - a GenSYS. Primeiramente, é elaborada uma breve contextualização desta empresa, apresentando a missão e a visão da mesma. Seguidamente, são descritas as características dos módulos do sistema GenPDM (*Generic Product Data Management*), GenPPC (*Generic Production Planning Control*) e GenSFC (*Generic Shop Floor Control*).

3.1 Apresentação da empresa

A GenSYS – Generic Systems é um *spin-off* da Universidade do Minho, e conta com mais de 10 anos de história e uma forte relação com empresas bem conhecidas, nomeadamente a Bosch Car Multimédia Portugal, S.A. Em 2016, tornou-se numa empresa integrante do Grupo Pinto Brasil.

Relativamente aos serviços prestados pela GenSYS aos seus clientes, estes passam pela implementação desta solução informática, juntamente com serviços de consultoria em organização e gestão da produção. Estes serviços permitem aumentar o desempenho e a fiabilidade dos seus sistemas de fabrico.

A GenSYS tem também equipas de Investigação e Desenvolvimento, bem como de Desenvolvimento de Tecnologias de Informação, que trabalham constantemente em novos modelos, algoritmos, funcionalidades e capacidades para responder aos requisitos da Indústria 4.0 e dos Sistemas de Fabrico Inteligentes.

A missão e a visão da empresa podem ser consultadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Missão e Visão da empresa GenSYS

Missão	Capacitar os clientes da empresa com ferramentas e conhecimentos para melhorar a eficiência e eficácia do seu sistema de planeamento e controlo da produção.
Visão	Fornecer sistemas informáticos inteligentes, flexíveis, poderosos e totalmente integrados, como pilares para criar soluções inovadoras para impulsionar o sistema de planeamento e controlo da produção da sua fábrica.

A GenSYS é, assim, uma empresa inovadora que desenvolve programas e aplicações informáticas para o planeamento e controlo de produção. É capaz de se adaptar e responder de forma rápida e eficaz às exigências específicas de cada cliente, lidando com ambientes de alta diversidade de produtos e customização em massa.

Deste modo, foi desenvolvido um sistema informático para o planeamento, programação e controlo da produção, o GenSYS. Este sistema incorpora um conjunto de módulos, podendo estes ser agrupados em três grandes áreas funcionais: a gestão de informação de artigos, o planeamento e controlo da produção e a programação e monitorização da produção.

O módulo que realiza toda a gestão de informação de artigos, desde a sua caracterização à sua lista de materiais, entre outras características, é o GenPDM, que se diferencia dos restantes sistemas informáticos convencionais pelo uso de modelos de referência genérica. O módulo para o planeamento e controlo da produção a médio prazo é o GenPPC, no qual se realiza o planeamento de necessidades de material e capacidade. De modo a analisar e planear melhor a produção existe o módulo GenPLN, que recorre à gestão visual e esquemática com gráficos de Gantt.

Por fim, para a programação e monitorização da produção, no curto prazo, encontram-se disponíveis quatro módulos: o GenPROG, onde se sucede a alocação e sequenciação das ordens de produção aos recursos da organização, o GenFLOOR, que representa de forma visual o que está a ser realizado no chão de fábrica em tempo real, o Terminal e o Terminal Milk onde se controla a realização dos trabalhos e movimentações de componentes, respetivamente.

Assim sendo, pode-se constatar que o sistema GenSYS realiza a gestão de informação de artigos, o planeamento, controlo e programação da produção, e para cada uma destas áreas existem diferentes módulos, como demonstrado na Figura 18.

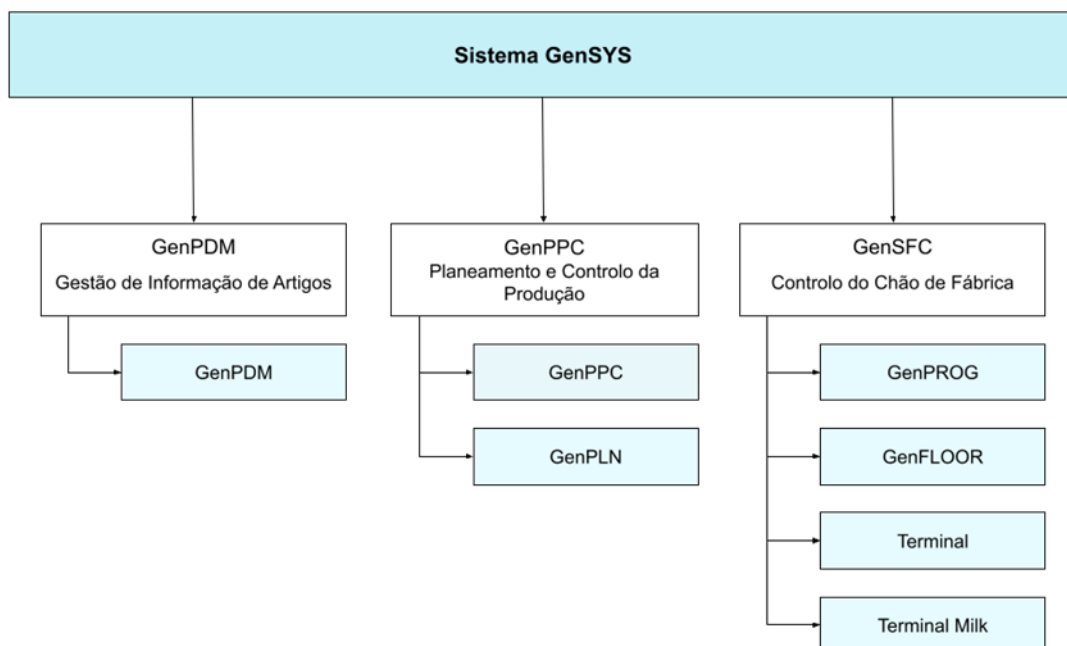


Figura 18 – Esquema das áreas funcionais e dos respetivos módulos do sistema GenSYS

Deste modo, o sistema GenSYS está apto para responder ao paradigma da CM e aos requisitos da Indústria 4.0, habilitando as empresas com processos flexíveis e com as mais recentes tecnologias, para produzir artigos diferenciados em grandes volumes e com custos relativamente baixos, tornando o sistema num *Smart Manufacturing System*.

3.2 GenPDM

O módulo *Generic Product Data Management* - GenPDM serve o propósito de guardar toda a informação relativa a todos os artigos e processos produtivos presentes numa empresa. Este módulo é flexível, abrangente e capaz de representar toda a informação de forma gráfica e simples. Para além disto, este consegue refletir todas as mudanças naturais que ocorrem durante o ciclo de vida dos produtos e dos processos.

Deste modo, o GenPDM permite a modelação e a gestão de toda a informação de uma forma flexível, estando preparado para receber esta mesma informação segundo um sistema de referência genérica. A escolha da referência genérica, ao invés da referência direta, deve-se ao facto de esta conseguir lidar eficazmente com a alta diversidade e personalização de produtos, e à redução de esforço na introdução de informação de artigos.

Este módulo é de extrema importância, pois comunica e fornece informação a todas as restantes áreas funcionais dos SPCP, tanto ao PCP como ao *shop floor*. Por conseguinte, é fulcral que toda a informação necessária se encontre bem modelada.

Em seguida, encontram-se explicitados os principais conceitos do modelo de referência genérica GenPDM, segundo Martins & Sousa (2013) e Gomes (2014), sendo estes: “Referência Genérica”, “Tipos de Parâmetros”, “Listas de Materiais Genéricas”, “Tipos de Operação” e “Gamas Operatórias Genéricas”.

Apesar de na modelação teórica não existir representação para a modelação de atributos, ou seja, para a informação relativa aos artigos essencial para o funcionamento do sistema PCP, como o prazo de entrega, o stock de segurança, o tamanho de lote, entre outros, esta é realizada neste módulo.

3.2.1 Referência Genérica

No modelo de referência GenPDM uma população de artigos é dividida em famílias, nas quais os artigos agrupados se assemelham entre si e têm o mesmo conjunto de propriedades, sendo atribuído a

cada grupo um código único. Assim, cada família de artigos representa uma referência genérica, e cada artigo específico de uma família é considerado uma variante da respectiva referência genérica.

A cada uma das referências é associado um conjunto de parâmetros, que representam as propriedades da família de artigos. A quantidade de parâmetros associados varia conforme o número de características necessárias para a representar. Ao atribuir valores a esses parâmetros são geradas todas as variantes possíveis para a referência genérica.

Em termos gráficos, uma referência genérica é representada através de um retângulo, com a identificação da mesma no interior e a sua unidade de medida. Os parâmetros são identificados por um código e uma descrição, a qual indica a função do parâmetro na caracterização da referência. Estes são representados por losangos e cada um tem associado um conjunto de valores possíveis, como ilustrado na Figura 19.

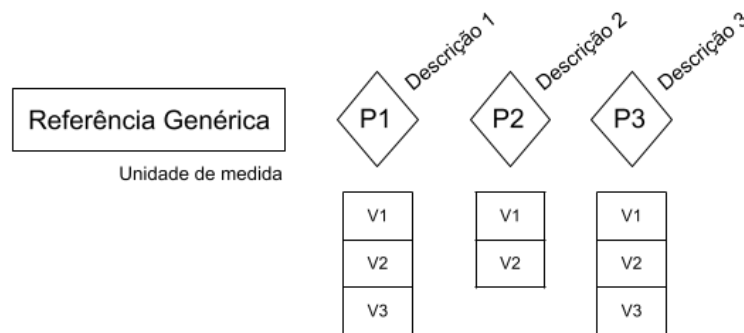


Figura 19 – Representação de uma referência genérica no modelo GenPDM com o seu conjunto de parâmetros

3.2.2 Tipo de Parâmetro

Um sistema de gestão de informação de artigos deve ser capaz de representar e incluir toda a gama de conceitos que cada organização utiliza para caracterizar e classificar os seus produtos e processos de fabrico. Para identificar esta informação, o modelo GenPDM fornece um mecanismo de representação denominado de Tipo de Parâmetro.

Um Tipo de Parâmetro é um conceito no sistema, sendo composto por um identificador e uma descrição com um significado dentro de cada organização. Este tem ainda associado um conjunto de elementos denominado Valores do Tipo de Parâmetro, onde existem dois tipos de domínio: extensão e compreensão. Um domínio de extensão corresponde a uma lista de valores finitos e é representado pela letra “L”. Já na definição em compreensão, é utilizada a letra “V” e o domínio é definido pela identificação dos valores de limite inferior e superior, obtendo assim um intervalo de valores numéricos.

Cada tipo de parâmetro é representado por um duplo losango acompanhado por uma descrição e no seu interior tem um identificador do tipo de valor, independentemente do domínio que apresenta. Na Figura 20 está representada a modelação para os tipos de parâmetros em extensão (a) e em compreensão (b).

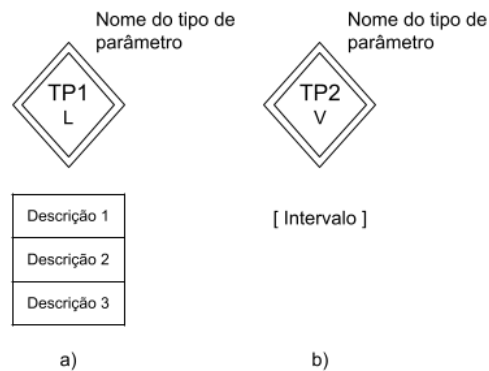


Figura 20 – Representação gráfica de um tipo de parâmetro definido em a) extensão e em b) compreensão

3.2.3 Lista de Materiais Genérica

Tendo identificado as referências genéricas com os respetivos parâmetros e os seus valores, é possível relacionar estas referências e criar listas de materiais genéricas (GBOM). Uma GBOM é definida para uma referência genérica e representa a BOM para todas as variantes da referência genérica. Para que o modelo GenPDM disponibilize a informação necessário para os SPCP, é importante que a GBOM seja capaz de gerar um BOM por cada artigo. Assim, torna-se fulcral que todas as relações entre várias referências genéricas e respetivos parâmetros se encontrem corretamente relacionados entre si para possibilitar a geração de BOMs de variantes.

A definição de uma GBOM começa pela identificação da referência genérica para a qual se pretende estruturar a lista de materiais, sendo esta apelidada de referência genérica “pai”, e dos diferentes componentes constituintes desta mesma referência. Cada componente denomina-se componente genérico e é posteriormente associado com uma referência genérica. Ao realizar este relacionamento, os parâmetros da referência genérica são automaticamente transpostos para os componentes. Ademais, os parâmetros dos componentes genéricos são representados graficamente por círculos.

O próximo passo na construção de uma GBOM é determinar de que forma os parâmetros da referência genérica “pai” se relacionam com os parâmetros dos componentes genéricos. Esta relação pode ser realizada através de várias expressões, sendo estas: um relacionamento direto, onde os parâmetros dos componentes herdam diretamente o valor dos parâmetros da referência “pai”, desde que o tipo de parâmetro de ambos seja igual; um valor constante, em que o valor de um parâmetro do componente

não é afetado pela escolha da variante da referência genérica “pai”; por fim, um expressão matemática, que relacione um parâmetro do componente genérico com um ou mais parâmetros da referência “pai”, sendo que é esta função que irá determinar o valor do parâmetro do componente. Esta última opção é normalmente utilizada quando ambos os parâmetros têm um domínio em compreensão.

Para concluir a definição de uma GBOM é necessário especificar as quantidades necessárias de cada componente específico. Para tal, recorre-se às expressões de consumo dos componentes genéricos, onde a definição destas é semelhante à definição das expressões de relacionamento entre um parâmetro de um componente e os parâmetros da referência “pai”.

Na Figura 21 é possível observar um exemplo de uma GBOM de uma referência genérica composta por três componentes genéricos, com origem em três referências genéricas distintas. Os componentes genéricos herdam os parâmetros das respetivas referências genéricas, por exemplo, o componente X apresenta dois parâmetros, P1 e P2, o componente Y têm um único parâmetro, P1, e o componente Z contempla três parâmetros, P1, P2 e P3. Relativamente aos relacionamentos, os parâmetros do componente X, P1 e P2, estão diretamente relacionados com os parâmetros P1 e P2 da referência genérica “pai”. O parâmetro P1 do componente Y também está diretamente relacionado com o parâmetro P3 da referência genérica. Por fim, o parâmetro P1 do componente Z está relacionado com o parâmetro P1 da referência genérica através de uma expressão matemática, o parâmetro P2 é preenchido por um valor constante e o P3 é relacionado diretamente com o parâmetro P2 da referência genérica. O consumo do componente X corresponde ao valor do parâmetro P1, o consumo do componente Y é expresso por uma expressão matemática com os parâmetros P1 e P3 da referência genérica, e o consumo do componente Z assume um valor constante.

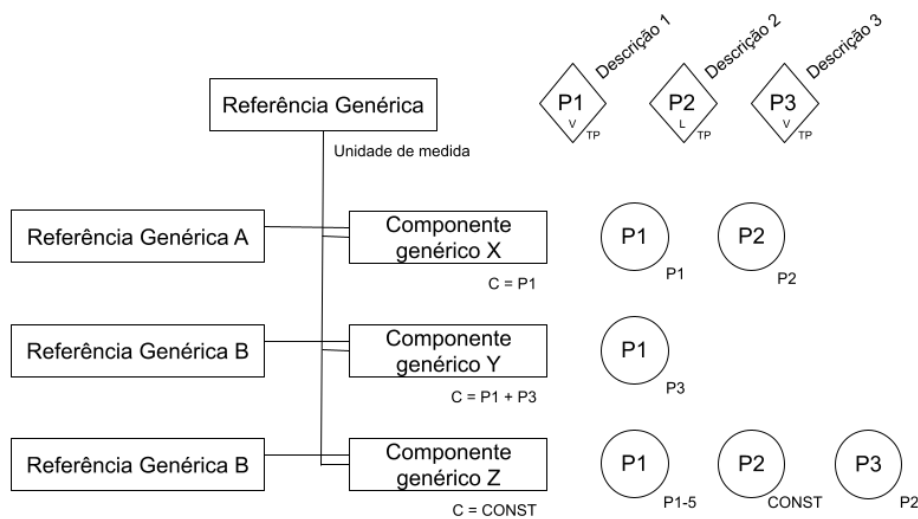


Figura 21 – Representação gráfica de uma lista de materiais genérica no modelo GenPDM

Assim sendo, para disponibilizar a informação necessária e correta aos SPCP, o modelo GenPDM pode gerar uma BOM específica para qualquer variante da referência genérica “pai”. Esta geração tem como base o conjunto de valores atribuído aos parâmetros da referência “pai” e as expressões associadas a cada um dos componentes genéricos, resultando na identificação de um componente específico e a sua quantidade necessária.

3.2.4 Tipo de Operação

No GenPDM, o conceito utilizado para classificar as operações que uma organização pode executar é o tipo de operação. Cada tipo de operação pode representar uma família de competências ou capacidades reconhecidas pela organização que apresentem semelhanças entre si.

Tal como nas referências genéricas, um tipo de operação também pode ter associado um conjunto de parâmetros, que permitem a geração de variantes de operação ao atribuir valores a esse conjunto. Estes parâmetros podem ser utilizados para representar propriedades específicas de cada operação e transmitir informação adicional ao operador para este poder executar as tarefas. A cada um dos parâmetros deve estar associado um tipo de parâmetro e um domínio de valores válido.

O tipo de operação é representado por um retângulo com os cantos recortados, com o respetivo identificador no centro, a unidade de medida a ser considerada para consumos de operações e os parâmetros que lhe estão associados (Figura 22).

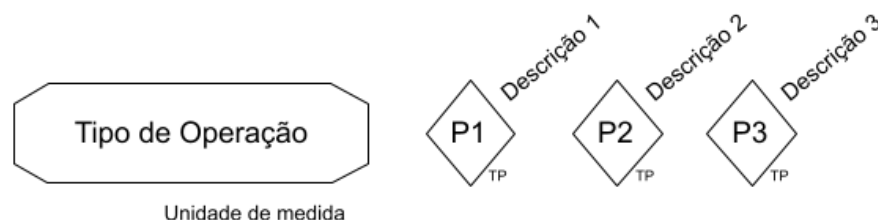


Figura 22 – Representação gráfica de um tipo de operação no modelo GenPDM

3.2.5 Gamas Operatórias Genéricas

A definição de uma Gama Operatória Genérica (GBOO) é muito semelhante à definição de GBOM, e cada GBOO deve conseguir representar a BOO específica de cada uma das variantes da referência genérica. O seu processo de construção começa pela identificação da referência genérica “pai” e as operações requeridas para produzir as variantes dessa mesma referência.

Após a identificação das operações, estas são associadas a um tipo de operação, adquirindo assim os parâmetros que estavam associados ao tipo de operação. No próximo passo são definidas as relações

entre os parâmetros da referência “pai” e os parâmetros das operações, tal como na GBOM. Para cada operação é também indicada uma expressão de consumo para determinar o seu tempo de execução. Para terminar, é necessário determinar a ordem de realização das operações, isto é, as precedências das operações, e para cada operação genérica indicar os componentes genéricos consumidos.

A Figura 23 representa uma GBOO de uma referência genérica formada por três operações, associadas a três tipos de operações diferentes. Os parâmetros presentes no tipo de operação são transportados para a operação, onde a operação X tem dois parâmetros, P1 e P2, e as outras duas operações tem somente um parâmetro, P1. O parâmetro P1 da operação X está diretamente relacionado com o parâmetro P1 da referência genérica “pai” e o parâmetro P2 assume um valor constante. O parâmetro P1 da operação Y está diretamente relacionado com o parâmetro P2 da referência genérica. Já o parâmetro P1 da operação Z está relacionado com o parâmetro P1 da referência genérica através de uma expressão matemática. Em relação aos consumos, o consumo da operação X está correlacionado com o parâmetro P1 da referência genérica, o consumo da operação Y é expresso por uma expressão matemática com os parâmetros P1 e P3 da referência genérica, e o consumo da operação Z assume um valor constante.

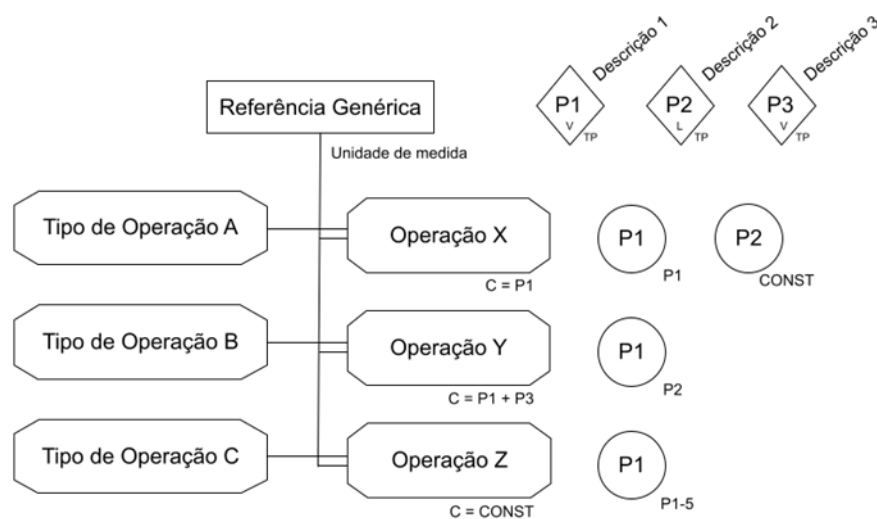


Figura 23 – Representação gráfica de uma gama operatória genérica no modelo GenPDM

No GenPDM, após a construção da GBOM, da GBOO e da associação dos componentes genéricos às operações, é possível integrar a informação da estrutura do produto com a informação sobre operações, unindo a BOM e a BOO numa única estrutura, denominada de BOMO – *Bill of Materials and Operations*.

3.3 GenPPC

O módulo *Generic Production Planning Control* – GenPPC, como o nome indica, é responsável por todas as funções de planeamento e controlo da produção de médio prazo. Ademais, este módulo permite interligar informação das mais diferentes áreas, como informação relativa ao produto, ao planeamento, à logística, à produção, à qualidade e à manutenção.

Conforme as necessidades dos clientes, este módulo realiza o planeamento diretor da produção e calcula o planeamento de necessidade de materiais e capacidade, segundo as técnicas de MRP e CRP, respetivamente. No cálculo das necessidades de materiais, para além das necessidades brutas, são ainda consideradas as receções programadas para cada artigo, o stock disponível, e os atributos referentes ao *lead time*, stock de segurança e tamanho de lote, caso se encontrem definidos. Posteriormente à execução do MRP, o sistema sugere lançamentos previstos, ou seja, sugestões de ordens de compra ou produção para cada artigo, em certas quantidades e para cada período, de forma a satisfazer as necessidades dos clientes.

Para além de fazer o cálculo do MRP, é importante realizar o CRP para garantir que a capacidade instalada é suficiente para cumprir os planos de produção estabelecidos. Esta análise de capacidade tem por base os lançamentos previstos resultantes do MRP e os limites de capacidade definidos para os recursos da organização. É assim agregado o tempo necessário para cada centro de trabalho/para cada tipo de competência e comparado com a capacidade instalada. Deste modo, os limites de capacidade permitem uma avaliação mais simples ao comparar a capacidade necessária com a capacidade instalada, facilitando certas tomadas de decisão como a realização de horas extra ou a necessidade de subcontratar.

De forma a visualizar graficamente os resultados destas técnicas, o GenPPC é complementado pelo módulo GenPLN. Neste pode-se observar os resultados do MRP em gráficos de Gant e, consoante o cálculo do CRP, ver de que forma se encontram os limites de capacidade segundo gráficos de barras.

Após a análise dos resultados do MRP e CRP, no módulo GenPPC procede-se ao lançamento de ordens de compra e de produção. As ordens de compra representam um documento com os artigos a serem comprados, com as quantidades e a data de entrega desses mesmos artigos. Relativamente às ordens de produção, estas indicam os artigos a serem produzidos, as respetivas quantidades e a data de início de produção.

Adicionalmente, este módulo consegue controlar e monitorizar, em tempo real, os níveis de stock e integra funções de logística interna e externa.

3.4 GenSFC

A área funcional *Generic Shop Floor Control* – GenSFC gere, no curto prazo, as atividades de programação e controlo da produção, seguindo uma estratégia de produção puxada e fornecendo informação sobre postos de trabalho, fornecedores, clientes, armazéns e sistemas de transporte, em tempo real, através de vários módulos interligados. Então, nesta área é realizada a sincronização de todas as atividades do chão de fábrica. O GenSFC é constituído por quatro módulos, cada um com funções específicas, sendo estes, o GenPROG, o GenFLOOR, o Terminal e o Terminal Milk.

No módulo GenPROG é realizada a sequenciação e alocação das ordens de programação através de *kanbans* eletrónicos. Em GenSYS, após a ativação de uma ordem de compra ou produção no GenPPC, esta passa a ter associada uma ordem de programação no curto prazo, que indica a referência do artigo e as quantidades a serem produzidas. A este conceito também está associado outro conceito, o lote da ordem de programação. Este representa a divisão da quantidade da ordem de programação em quantidades mais pequenas. Ambos conceitos estão ilustrados na Figura 24, com uma ordem de programação de vinte unidades e quatro lotes de ordens de programação, cada um com cinco unidades.

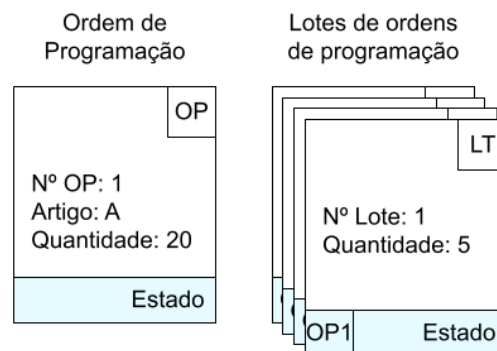


Figura 24 – Representação gráfica de uma ordem de programação e de um lote da ordem de programação

O conceito de ordem de programação tem implícita a necessidade de realização de algum tipo de tarefa para obter o artigo nela referenciado. O número de tarefas que têm que ser feitas no contexto de uma ordem de programação é proporcional à quantidade de artigos dessa ordem de programação. Quando uma ordem de programação está dividida em lotes, um trabalho representa uma das operações ou tarefas que tem que ser realizadas para todos os artigos de cada lote.

O conjunto de todas as ordens de programação e respectivos lotes designa-se por fila do sistema. No entanto, nem todas estas se encontram-se em execução ao mesmo tempo, por isso, dentro da fila do sistema existe um subconjunto com as ordens ativas. Quando estas ordens se encontram no estado ativo ou de execução, podem lhes ser atribuídos *kanbans*. Um *kanban* representa uma autorização para que um posto execute as operações necessárias para produzir um lote de uma ordem de programação.

Cada *kanban* tem um identificador próprio e único no sistema, independentemente de estar ou não relacionado com um lote de uma ordem de programação. Quando é associado a um lote, o *kanban* herda as características do lote, isto é, recebe a informação sobre os trabalhos a realizar, os componentes necessários, e as relações de precedência entre esses trabalhos, passando a estar ligado à ordem de programação e ao respetivo identificador de lote. Este *kanban* de trabalho mantém-se associado ao lote até que todos os seus trabalhos estejam realizados, sendo depois libertado para que possa ser atribuído a outro lote.

Quando um *kanban* é relacionado com um lote, este entra para a fila FIFO, fila esta que têm um número de posições pré-definidas e um sentido, onde cada *kanban* de trabalho ocupa uma posição. Na fila FIFO estão representados todos os *kanbans* em circulação no sistema de programação. Além disto, o *kanban* entra para a última posição da fila FIFO e quando este fica pronto, isto é, depois do trabalho realizado, o *kanban* sai da fila libertando uma posição para outro *kanban*. Todo este processo encontra-se esquematizado na Figura 25.

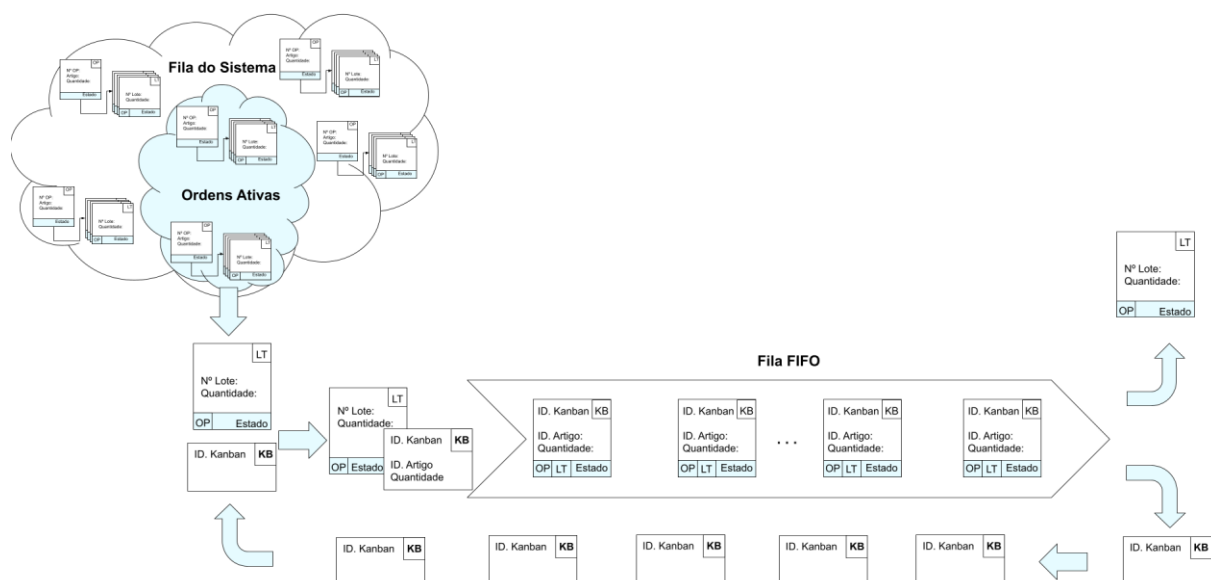


Figura 25 – Representação gráfica da Fila do Sistema e da Fila FIFO

No GenSFC, todas as entidades capazes de realizar os trabalhos definidos na fila do sistema, quer sejam internas ou externas, são denominadas de postos de trabalhos. Estes podem ser classificados segundo

a sua função, armazéns, fornecedores, transportadores, entre outros, sendo que neste caso, só é tratado o posto de trabalho classificado como posto interno. Os postos internos são aqueles que conseguem efetuar as operações da BOO dos produtos com ordens de produção ativas.

A alocação dos trabalhos aos postos é feita com base no conceito de competência. Cada operação da BOO tem uma competência associada, e cada posto de trabalho tem um conjunto de competências disponíveis. Assim, um trabalho só é alocado a um posto que tenha as habilidades para efetuar a operação. Ainda, é preciso que tenha disponibilidade para alocar aos postos e disponibilidade dos componentes necessários.

Relativamente à sequenciação, esta está implícita na própria fila FIFO do sistema e é refletida para as filas dos postos. A fila do posto representa a zona de entrada dos trabalhos e a sequência pela qual estes devem sair para a execução (Figura 26). Esta sequenciação é feita com base no critério da data final da produção, no entanto, pode ser alterada a qualquer momento pelo utilizador.

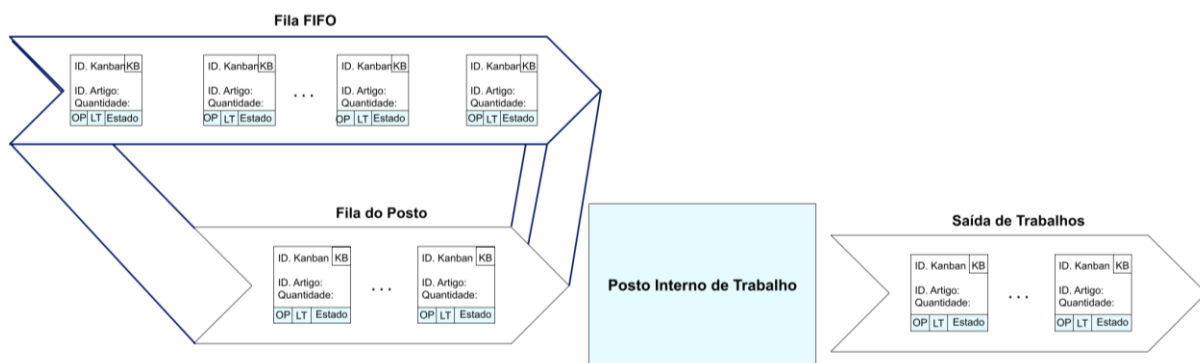


Figura 26 – Representação gráfica da Fila do Posto

Para além de realizar o escalonamento da produção, no módulo GenPROG também é possível monitorizar e rastrear, em tempo real, as operações em chão de fábrica, e realizar projeções para um dado intervalo de tempo, que permitem prever o comportamento do sistema produtivo. Assim, com este módulo consegue-se avaliar o desempenho da organização, obter maior agilidade, flexibilidade e proatividade na programação da produção por ser possível alterar a sequenciação dos trabalhos e antecipar potenciais erros e falhas.

Relativamente aos restantes módulos, o Terminal é o módulo destinado aos operadores do chão de fábrica, onde é possível dar início e término à execução dos *kanbans* de trabalho. Em relação ao transporte de artigos, os movimentos realizados, como carregar e descarregar um *kanban* num posto de trabalho ou num armazém, podem ser registados no Terminal Milk. Por fim, o módulo GenFLOOR

possibilita monitorizar e controlar, em tempo real, o estado de cada *kanban* nos postos de trabalho, armazéns e meios de transporte, de forma visual.

Deste modo, com o sistema GenSYS é possível sincronizar, monitorizar e controlar todas as atividades presentes no chão de fábrica, em tempo real, proporcionando uma tomada de decisões mais informada e consciente e a capacidade de prever e reagir a problemas antes de estes acontecerem. O GenSYS consegue, assim, responder aos requisitos impostos pela Indústria 4.0.

4. CO-PRODUÇÃO EM GENSYS

Nas indústrias de manufatura, maior parte dos processos produtivos consomem vários componentes para produzir um produto final. As BOMs de maior parte dos SPCP espelham este processo, com uma lista de componentes “filho” para a produção de um produto “pai”, formando uma estrutura do produto convergente. No entanto, existem outros tipos processos de transformação de onde podem ser obtidos vários produtos finais ao mesmo tempo. A este processo é dado o nome de co-produção, de onde resultam co-produtos ou subprodutos. Na representação gráfica de uma BOM, estes produtos ficam no topo da lista, alterando assim a estrutura do produto para divergente. Tal como na BOM convencional, estes produtos têm as suas necessidades brutas para satisfazer.

Muitos dos SPCP ainda não são capazes de lidar com o fenómeno de co-produção, pois, tanto a estrutura do produto como o processo produtivo têm de ser modelados nos sistemas informáticos de modo diferente aos processos convencionais. Assim sendo, primeiramente neste capítulo são abordados os conceitos utilizados pelo sistema GenSYS para modelar e tratar este género de processo produtivo, apresentando um modelo de gestão de informação de artigos para representar a co-produção. De seguida, é indicado um caso de um processo produtivo de onde resultam vários produtos diferentes, e recorrendo a um exemplo deste tipo de processo produtivo é demonstrada a aplicação dos conceitos e do modelo. Posteriormente é estudado como este modelo presente no PDM comunica com as restantes áreas funcionais de um SPCP de forma a satisfazer as necessidades destas mesmas áreas e qual o impacto deste modelo no planeamento e programação da produção.

4.1 Modelo para a gestão de informação de artigos para processos de co-produção

No módulo GenPDM cada referência genérica pode ser classificada numa série de classes de artigos, como, matéria-prima, semiacabado, produto acabado, produto agregado e subproduto. Para representar o processo de co-produção em GenSYS, são utilizados os conceitos de produto agregado e de subproduto.

Um produto é classificado como agregado quando do processo produtivo podem resultar, simultaneamente, dois ou mais produtos utilizando a mesma entrada de artigos. Os produtos que derivam do produto agregado são designados, no sistema, por subprodutos. Na Figura 27, estes conceitos encontram-se esquematizados num diagrama de um processo produtivo, no qual a entrada é de um artigo, I , e na saída são devolvidos vários artigos distintos, de O_1 a O_n . Estes artigos transformados são, então, classificados como subprodutos, e o produto agregado, tal como o nome indica, representa o conjunto de produtos resultantes do processo e os artigos consumidos. O produto agregado não

representa um artigo físico, é apenas um conceito no sistema GenSYS, que representa um processo produtivo partilhado por todos os artigos devolvidos, que também partilham a mesma lista de materiais. Deste modo, este conceito deve ser utilizado quando é necessário retratar um conjunto de produtos diferentes que resultam simultaneamente de um processo produtivo comum, onde no final do processo ocorre a desagregação destes produtos. Como se trata de um conceito e não da representação de um artigo físico, o produto agregado não é alvo de nenhum processo produtivo, nunca dando entrada em armazém e não sendo considerado para inventário.

O objetivo principal do produto agregado é representar o processo de transformação de onde resulta um conjunto de artigos, que partilham a mesma lista de materiais e a mesma gama operatória, para dar informação às funções de planeamento, controlo e programação da produção. Assim, os vários produtos agregados são representados pelo conceito do produto agregado desde a fase de planeamento e controlo da produção à execução no chão de fábrica.

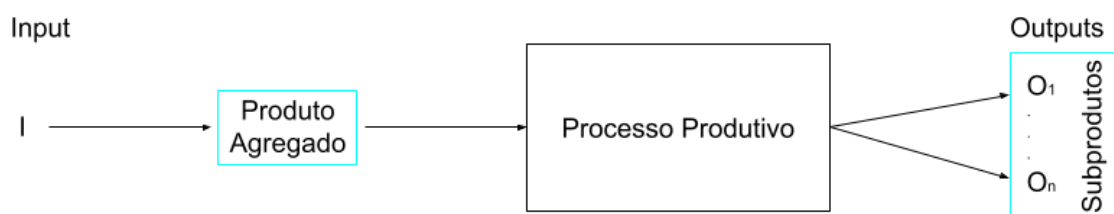


Figura 27 – Representação de um processo produtivo com um produto agregado e subprodutos

Estes produtos podem ser modelados segundo o modelo de referência genérica, onde cada referência genérica pode ter associado um conjunto de parâmetros e atributos para caracterizar cada produto específico. Atentando no atributo relativo ao prazo de entrega, o valor deste para o produto agregado é o mesmo valor para o subproduto devolvido desse mesmo produto agregado, pois ambos partilham do mesmo processo produtivo.

4.1.1 Lista de Materiais de um Produto Agregado

O produto agregado é capaz de representar o processo produtivo, desde a entrada de artigos à saída de produtos transformados, os subprodutos. Seguindo a estrutura do produto, a BOM da referência do produto agregado é composta por todos os artigos presentes no processo de transformação, tanto os artigos de entrada, como os que dão saída do processo. Segundo o exemplo da Figura 27, a referência do produto agregado é constituída pelos artigos I e os artigos de O₁ a O_n, como pode ser observado na Figura 28.

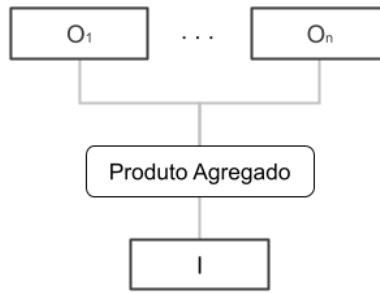


Figura 28 – Lista de componentes presentes num produto agregado

Porém, é importante reconhecer quais serão os produtos consumidos no processo e quais serão retornados no fim deste. Para diferenciar estes artigos na GBOM, os componentes de entrada no processo são representados por um plano de composição ou um plano de consumo, e os componentes transformados pelo processo são representados por um plano de devolução.

Um plano de consumo, como o próprio nome indica, designa os componentes a ser consumidos e transformados pelo processo produtivo, neste caso, o artigo I será representado por um plano deste tipo. O conceito de plano de devolução retrata o retorno de produtos, isto é, estes produtos não são consumidos no próprio processo, como é normalmente refletido numa BOM convencional, mas são um resultado do processo, sendo devolvidos a um armazém no final do processo. Para o processo da Figura 27, como são os artigos de O_1 a O_n que são devolvidos ao fim do processo, estes serão modelados na GBOM do produto agregado através de um plano de devolução. A nível de representação gráfica, um plano de devolução é identificado por uma seta com direção para a esquerda nos produtos que são devolvidos, como demonstrado na Figura 29. Assim sendo, na Figura 29 encontra-se ilustrada a árvore do produto para o produto agregado.

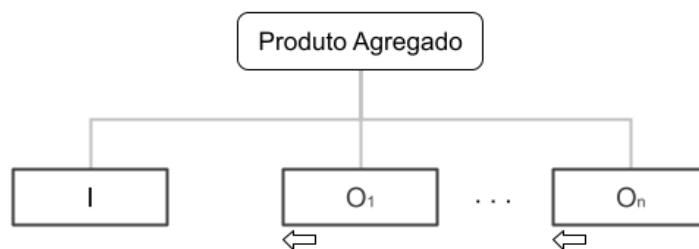


Figura 29 – Representação da BOM do produto agregado

O número de vezes que se cria planos de devolução corresponde ao número de produtos diferentes que se consegue obter a partir do produto agregado. Por exemplo, se do produto agregado resultarem 5 peças diferentes, então devem constar 5 planos de devolução na BOM do produto agregado.

Como a BOM referente ao produto agregado representa a devolução dos subprodutos, no PCP são lançadas ordens de produção do produto agregado, deixando de ser necessário gerar ordens de produção

dos subprodutos. Deste modo, as necessidades dos subprodutos são satisfeitas pelos artigos que resultam do processo produtivo do produto agregado. O impacto deste produto no PCP será abordado mais aprofundadamente na secção 4.3 relativa à gestão da produção.

Quando lançada uma ordem de produção e, posteriormente, calculado o MRP, é executado o modelo de programação para trás, de acordo com o prazo de entrega dos produtos. Neste modelo cada nível da estrutura de produto acrescenta o seu prazo de entrega (em inglês, *Lead Time*- LT) ao tempo de percurso total do produto. Neste caso, é lançada uma ordem de produção para o produto agregado, e consoante o prazo de entrega deste e dos componentes presentes na estrutura do produto, é realizada a programação para trás. Tendo em consideração a BOM da Figura 29, um prazo de entrega igual a um período para todos os artigos, e uma inexistência de stock, o percurso total resulta em dois períodos, como ilustrado na Figura 30.

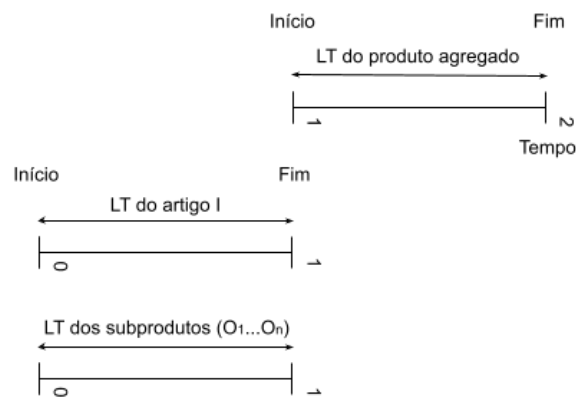


Figura 30 – Prazo de entrega para o produto agregado segundo a sua BOM

No entanto, os subprodutos não têm início nem fim, antes do produto agregado, visto que estes são devolvidos no fim do processo produtivo. Assim sendo, durante o planeamento da produção, estes produtos deverão encontrar-se no mesmo período temporal que o produto agregado. Para que isto aconteça, é possível recorrer ao conceito de prazo relativo de entrega, o *turnaround time* (Scheer, 1994). Este será um prazo de entrega de um componente relativo ao artigo “pai”, e tem o intuito de atrasar o início do componente. Isto é, considera-se que o componente terá o seu início atardado um período ou mais, de acordo com o valor do prazo de entrega relativo. Este prazo de entrega terá influência sobre o período de início da produção ou de entrega do componente (Lima, 2013).

Para o caso exemplificado, pretende-se atrasar o início dos subprodutos, para este coincidir com o início do produto agregado. Para que isto aconteça, é necessário atribuir um prazo de entrega relativo aos subprodutos, com valor igual ao valor do prazo de entrega dos mesmos, sendo que neste exemplo, o prazo é de um período (Figura 31).

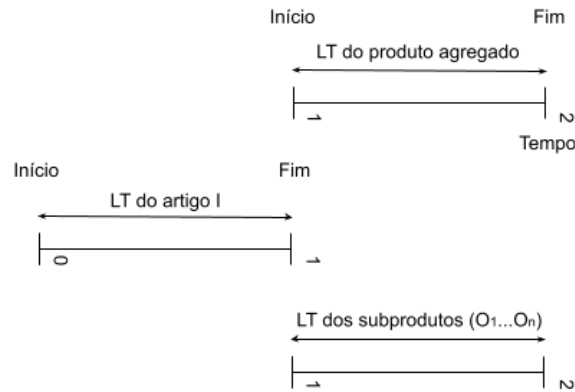


Figura 31 – Prazo de entrega para o produto agregado sob o efeito do prazo de entrega relativo nos subprodutos

No modelo GenPDM este conceito é definido para cada subproduto aquando da criação dos planos de devolução na GBOM de um produto agregado. Este conceito que terá impacto no planeamento da produção a médio prazo. Após a definição dos planos de consumo e de devolução, é necessário indicar os consumos e as relações entre os parâmetros da referência relativa ao produto agregado e os restantes componentes presentes na sua GBOM, sendo que este passo é realizado da mesma forma que para as outras referências genéricas, descrito no capítulo anterior.

4.1.2 Lista de Materiais de um Subproduto

Apesar de não serem lançadas ordens de produção para os subprodutos, estes podem também ter uma GBOM associada. Esta BOM serve para efeitos de MRP, de forma a fornecer ao utilizador uma estimativa dos materiais necessários a médio prazo. A BOM de uma referência classificada como subproduto é constituída, assim, pelos artigos que irão ser consumidos, e é construída tal como as BOM das referências genéricas de produtos intermédios e produtos acabados.

Para além disto, se o subproduto não for um produto final, e este ainda for consumido num produto intermédio ou acabado, na GBOM das referências genéricas relativas a esses produtos é definido um plano de consumo com a referência do subproduto.

4.1.3 Gama Operatória para o Produto Agregado e Subproduto

Relativamente à GBOO, esta é definida tanto para a referência relativa ao produto agregado como para a referência do subproduto. A BOO destes produtos poderá conter uma ou mais operações, onde deverão ser também definidos os planos de consumo das operações e as precedências entre elas. As operações presentes no produto agregado, bem como as suas precedências, deverão ser as mesmas que se encontram nas referências dos subprodutos aos quais dá origem. Tal como na BOM da referência

classificada como subproduto, a BOO serve para efeito de médio prazo, nomeadamente para o planeamento de necessidades de capacidade.

O consumo das operações na BOO de uma referência relativa aos subprodutos deverá ser o tempo necessário para produzir um subproduto, enquanto o consumo para a referência referente ao produto agregado deverá ser o tempo total na produção de todos os subprodutos.

Quando a referência relativa ao produto agregado tem mais que uma operação, os planos de consumo dos componentes devem estar ligados a uma operação, para informar em que operações são consumidos esses componentes, ou seja, quando é que esses componentes precisam de estar disponíveis para executar certa operação. Em relação aos componentes modelados através de planos de devolução, estes são obtidos, simultaneamente, no fim do processo produtivo, logo, devem ser associados à última operação da gama operatória, como é possível observar na Figura 32.

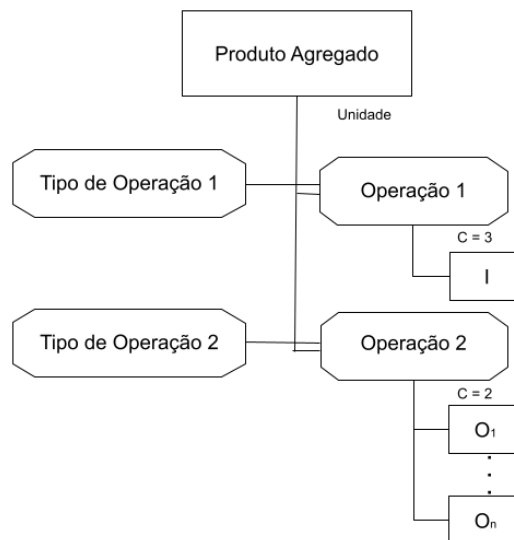


Figura 32 – Representação da BOO de um produto agregado com os respetivos planos de consumo

De forma a demonstrar estes conceitos com mais clareza e a solução para a gestão de informação de artigos na sua totalidade, no próximo subcapítulo é apresentado um exemplo de um processo de co-produção simplificado.

4.2 Modelação de planos de corte com exemplo demonstrativo

Um plano de corte corresponde a um documento que indica o objeto a ser transformado, isto é, a matéria-prima, e, os itens transformados, que refletem as peças que vão ser cortadas. Depois de ter o plano de corte concebido, procede-se à operação de corte, onde o plano vai ser posto em prática, consumindo a matéria-prima e devolvendo os itens cortados. Normalmente, os planos de corte representam vários

produtos diferenciados a serem cortados, quer seja somente peças cortadas, quer seja peças cortadas mais retalhos que são devolvidos ao armazém no fim do processo. Então, da operação de corte irão resultar vários artigos distintos, em várias quantidades, ao mesmo tempo (Figura 33).

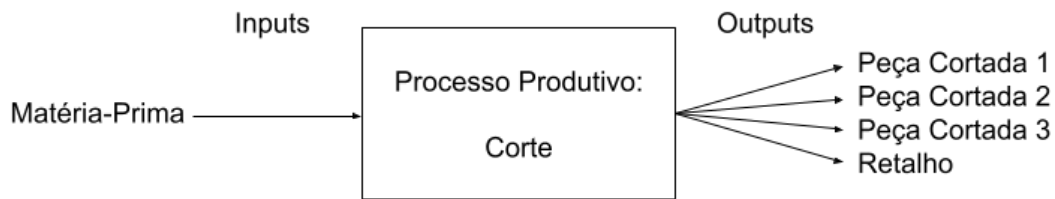


Figura 33 – Representação de um processo produtivo de corte

Através do diagrama da Figura 33, pode-se concluir que este processo produtivo é um exemplo de um processo de co-produção, com a produção de vários artigos diferenciados simultaneamente. Assim sendo, para modelar planos de corte poderá ser utilizado o modelo descrito previamente neste capítulo, fazendo uso dos conceitos de produto agregado e subproduto. O conceito de produto agregado representa, neste caso, o plano de corte, e os subprodutos representam todos os itens cortados (Figura 34).

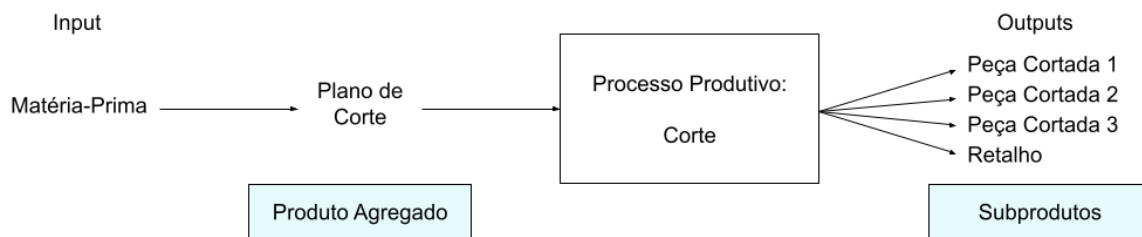


Figura 34 – Representação de um processo produtivo de corte utilizando o conceito de plano de corte

Para ilustrar o modelo descrito na secção anterior e demonstrar como pode ser aplicado foi criado um exemplo fictício para modelar. Este exemplo representa de forma muito simplificada um processo com planos de cortes, por isso, o exemplo será modelado segundo o modelo mostrado previamente seguindo um processo com planos de corte.

Modelação do Exemplo:

O produto final de exemplo é produzido através de uma montagem, precisando de cinco unidades de peças cortadas do tipo 1. A quantidade de matéria-prima que é utilizada na operação de corte é fixa, isto é, cada vez que é realizada a operação de corte são consumidas duas unidades de matéria-prima. Adicionalmente, do processo de corte resultam dois tipos de peças cortadas em quantidades distintas, cinco unidades da peça cortada 1 e dez unidades da peça cortada 2. A duração de corte de cada peça é cerca de um minuto, logo a duração do plano de corte irá ser de quinze minutos. Na Figura 35 é

possível observar graficamente o exemplo na sua generalidade através das listas de materiais e gamas operatórias.

Para iniciar a modelação é necessário criar as referências referentes à matéria-prima e ao produto final, atribuindo a classe de matéria-prima e produto acabado, respetivamente. Como este exemplo retrata um caso de co-produção, as peças cortadas serão modeladas através de referências classificadas como subprodutos, e será criada uma referência com classe de produto agregado denominada de plano de corte.

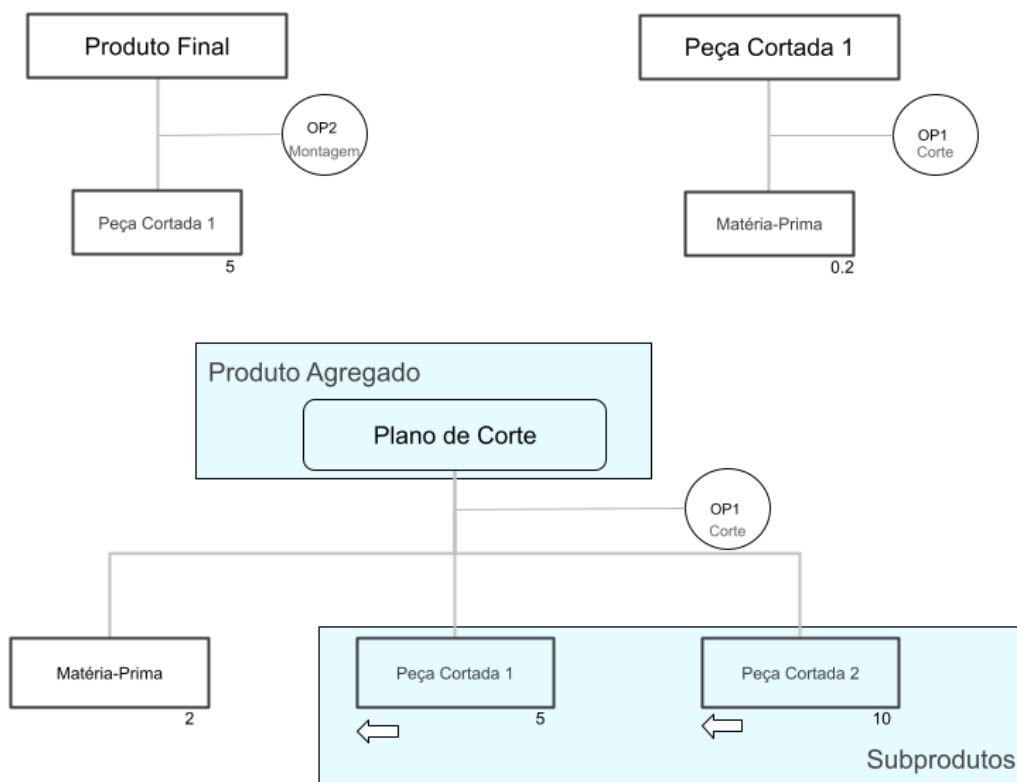


Figura 35 – Representação gráfica do exemplo

Lista de Materiais e Gama Operatória da Peça Cortada 1

Recordando que não são lançadas ordens de produção de referências classificadas como subprodutos, a caracterização destas, com uma BOM e uma BOO, apenas é necessária para efeitos de MRP e CRP, mais especificamente, para informar o utilizador com uma estimativa das matérias-primas e das capacidades necessárias a médio prazo.

A GBOM destas referências é composta pelo plano de consumo referente à matéria-prima. O consumo desta matéria-prima está dependente do plano de corte, podendo ser constante ou variável. Caso os planos de corte utilizem sempre a mesma matéria-prima, nas mesmas quantidades, como por exemplo,

quando a máquina de corte só permite o uso de uma chapa de um metro quadrado, o consumo na GBOM será constante e igual ao valor consumido.

No entanto, se as dimensões da matéria-prima se alterarem consoante o plano de corte a utilizar ou dependerem do sistema de otimização de corte, o valor colocado na modelação irá ser um valor aproximado ao real. Obtendo, assim, uma estimativa do consumo necessário da matéria-prima no planeamento a médio prazo.

Posteriormente, também se realizam as relações entre os parâmetros da referência relativa ao subproduto, a referência “pai”, e os parâmetros da referência “filho”, a matéria-prima. No exemplo, a Peça Cortada 1 terá uma GBOM com um plano de consumo referente à matéria-prima, com um consumo constante. Para efeitos de simplificação, não foram considerados parâmetros para nenhuma destas referências.

As referências classificadas como subprodutos, as peças cortadas, resultam da operação de corte, logo, é necessário parametrizar o tipo de operação de corte. Como todos os outros tipos de operações, este pode ter vários parâmetros associados. Alguns exemplos para estes são o tipo de corte realizado, a velocidade de corte, informações para o operador ou para a máquina, o próprio documento com o plano de corte, entre outros. Para este exemplo também não foram considerados parâmetros para a operação de corte. Após a definição do tipo de operação, é criada a GBOO para a Peça Cortada 1, com um consumo de um minuto. Na Figura 36, encontra-se demonstrada a estrutura BOMO para a Peça Cortada 1.

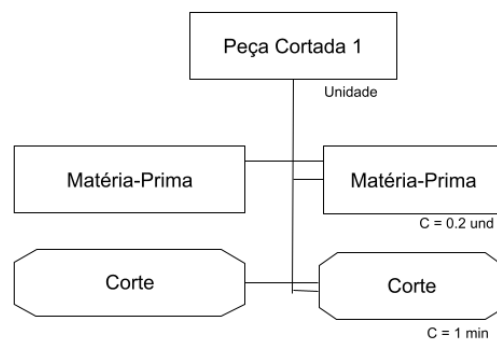


Figura 36 – Representação da BOMO da Peça Cortada 1

Neste exemplo, o subproduto não é um produto acabado, já que este é utilizado para produzir outro produto. Assim sendo, como mencionado anteriormente, a referência relativa à peça cortada pode fazer parte de uma GBOM de outro produto, neste caso, do produto final, como é possível ver na Figura 37.

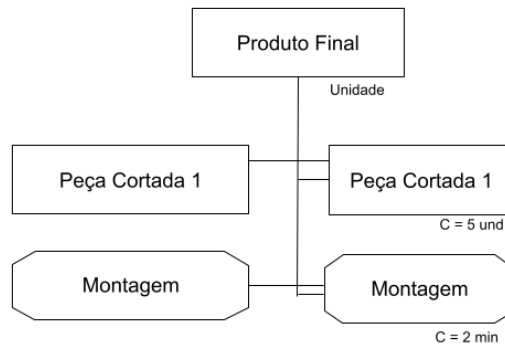


Figura 37 - Representação da BOMO do Produto Final

Lista de Materiais e Gama Operatória do Plano de Corte

Relativamente ao plano de corte, este indica qual a matéria-prima a ser consumida e quais são as peças que resultam da operação de corte. Como o objetivo principal deste é dar origem a itens cortados, não sendo um produto físico que é transformado, em GenSYS, o plano de corte pode corresponder a uma referência genérica classificada como um produto agregado. A modelação desta referência é realizada da mesma forma que as outras referências, sendo caracterizada pelos seus parâmetros e atributos. Os parâmetros relativos aos planos de corte podem ser por exemplo, o tipo de matéria-prima consumida, o esquema do plano de corte, qual o tipo de operação de corte realizado e outras informações referentes à operação de corte. Novamente, para efeitos de simplificação não foram considerados parâmetros, neste exemplo, para esta referência.

A GBOM da referência relativa ao plano de corte contém a matéria-prima e os itens que resultam deste plano de corte, sendo a matéria-prima modelada através de um plano de consumo, e os itens cortados modelados através de planos de devolução.

Na criação do plano de devolução dos subprodutos é necessário indicar o prazo de entrega relativo destes, o seu *turnaround time*. O valor que este prazo deve assumir, deve ser o mesmo valor do prazo de entrega dos subprodutos e do plano de corte, para que no planeamento da produção a médio prazo, o fim da produção dos subprodutos coincida com o fim da produção do plano de corte. Isto para que quando a ordem de produção do plano de corte terminar, as peças cortadas entrem em armazém nesse instante. Na Figura 38 é possível observar o impacto do prazo de entrega relativo para a Peça Cortada 1, de forma que o fim da sua produção coincida com o fim do Plano de Corte.

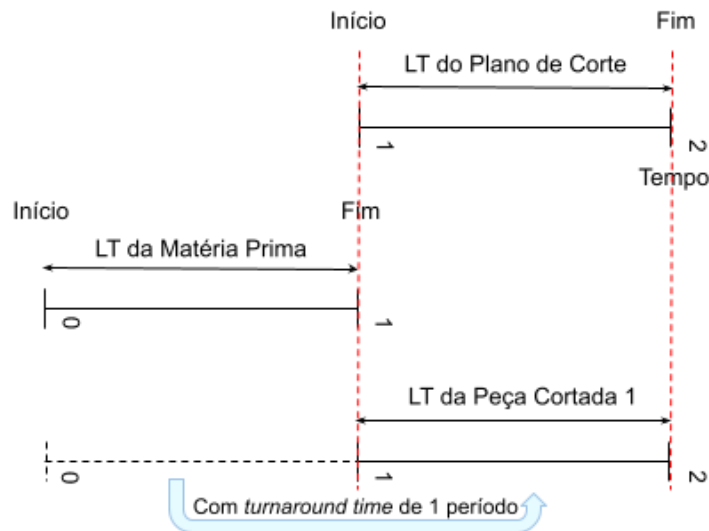


Figura 38 – Representação do impacto do prazo de entrega relativo no exemplo

Os efeitos destes conceitos voltam a ser demonstrados mais à frente neste capítulo, na parte referente ao planeamento da produção a médio prazo. Para o caso exemplificado, como o prazo de entrega das peças produzidas é de um dia, o valor do prazo de entrega relativo também é de um dia. Na Figura 39 é possível observar como é criado um plano de devolução no módulo GenPDM.

Figura 39 – Formulário para a definição do plano de devolução de uma referência classificada como produto agregado

Na definição da GBOM também é preciso especificar as quantidades consumidas e devolvidas para cada componente, ou seja, o consumo dos artigos presentes na BOM. Para tal, é possível recorrer às expressões de consumo, sendo estas, um relacionamento direto ou uma expressão matemática com os parâmetros da referência do plano de corte, ou, um valor constante. No consumo da matéria-prima, é colocada a quantidade exata consumida, pois, após a elaboração do plano de corte já é conhecido o valor real de matéria-prima que será utilizada.

Em relação ao consumo dos componentes modelados através de planos de devolução, ou seja, os itens cortados, este deve representar a quantidade que resulta depois da operação de corte ter sido executada.

O consumo pode assumir um valor constante, se, por exemplo, o plano de corte tenha um número fixo de itens cortados de um artigo específico. Caso contrário, por exemplo, se as dimensões dos itens a cortar se alterarem consoante os valores escolhidos para os parâmetros do plano de corte, o valor do consumo é variável e está relacionado com os parâmetros da referência do plano de corte, diretamente ou sob expressão matemática.

A GBOO de uma referência relativa a um plano de corte terá a operação de corte, como a GBOO dos subprodutos. O consumo desta operação será o tempo que demora a cortar todos os produtos que resultam da operação.

Resumidamente, para o exemplo ilustrado, a GBOM do Plano de Corte terá um plano de consumo referente à Matéria-Prima, com um consumo fixo de duas unidades, e terá dois planos de devolução, um para a Peça Cortada 1 e outro para a Peça Cortada 2, com os consumos de cinco e dez, respetivamente. A GBOO para esta referência é constituída pela operação de corte, com o consumo de quinze minutos. Na Figura 40 encontra-se demonstrada a BOMO da referência do Plano de Corte modelada em GenSYS.

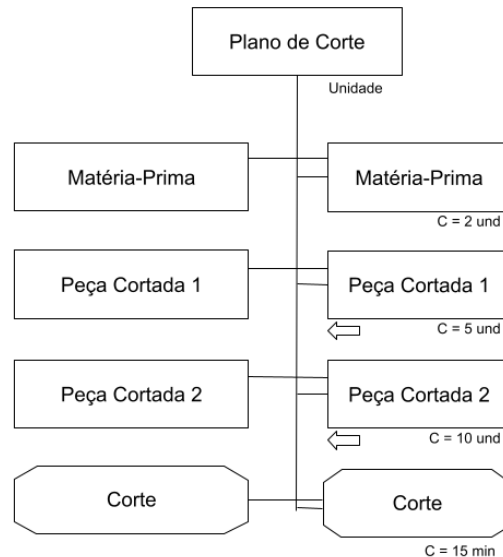


Figura 40 – Representação da BOMO do Plano de Corte

4.3 Gestão da Produção com Produtos Agregados e Subprodutos

Nesta secção é estudado o impacto que os conceitos de produto agregado e subproduto, e os conceitos agregados a estes, têm no planeamento e controlo da produção a médio e curto prazo. De forma a demonstrar isto é seguido o exemplo apresentado e modelado na secção anterior (Figura 35). É ainda

relevante lembrar que o valor do prazo de entrega de todos os produtos que corresponde a um dia e o stock disponível inicial é nulo para todos os artigos.

4.3.1 Planeamento de necessidades de materiais e capacidades:

Por norma o processo de produção inicia-se com uma encomenda de um cliente, embora também seja possível produzir para stock. Neste exemplo, parte-se do pressuposto que um cliente realizou uma encomenda de uma unidade do produto final para o dia 10/12/2021. Após criada a encomenda no sistema GenSYS, é efetuado o cálculo das necessidades de materiais, segundo a técnica MRP. Deste cálculo resultam as necessidades líquidas, que por sua vez, dão origem aos lançamentos previstos de ordens de produção e/ou de compra, nos quais são identificados quais os produtos a serem produzidos e/ou comprados, em que quantidades e em que datas devem ser produzidos ou comprados. Para o exemplo ilustrado, são calculados os lançamentos para o Produto Final, a Peça Cortada 1 e a Matéria-Prima, como é possível observar na Figura 41.

Neste exemplo, o Plano de Corte contém duas peças distintas, no entanto, apenas serão analisadas e tratadas as necessidades brutas para a Peça Cortada 1. Tendo em consideração que as ordens de produção podem ser criadas para satisfazer encomendas ou para stock e que na elaboração do plano de corte o objetivo é maximizar a utilização da matéria-prima ou a utilização da capacidade instalada, a Peça Cortada 2 pode ser colocada no plano de corte por ter necessidades brutas ou para produzir para stock e fazer o melhor aproveitamento da matéria-prima ou dos recursos. Porém, se não existirem necessidades brutas para a Peça Cortada 2, nem se pretenda ter stock desta peça, o plano de devolução desta peça pode ser retirado da lista de materiais do Plano de Corte.

Produto Final					
	0	1	2	3	4
		7/12/2021	8/12/2021	9/12/2021	10/12/2021
Necessidades Brutas					1
Receções Programadas					
Stock Disponível	0	0	0	0	0
Necessidades Líquidas					1
Lançamentos Previstos				1	

Peça Cortada 1						Matéria-Prima					
	0	1	2	3	4		0	1	2	3	4
		7/12/2021	8/12/2021	9/12/2021	10/12/2021			7/12/2021	8/12/2021	9/12/2021	10/12/2021
Necessidades Brutas				5		Necessidades Brutas			1		
Receções Programadas						Receções Programadas					
Stock Disponível	0	0	0	0	0	Stock Disponível	0	0	0	0	0
Necessidades Líquidas				5		Necessidades Líquidas			1		
Lançamentos Previstos			5			Lançamentos Previstos		1			

Figura 41 – Cálculo do MRP para o Produto Final, a Peça Cortada 1 e a Matéria-Prima

Assim, no módulo GenPPC é possível observar os lançamentos de ordens de produção do para o Produto Final (Figura 42a) e para a Peça Cortada 1 (Figura 42b), bem como os lançamentos de compra para a Matéria – Prima (Figura 42c).

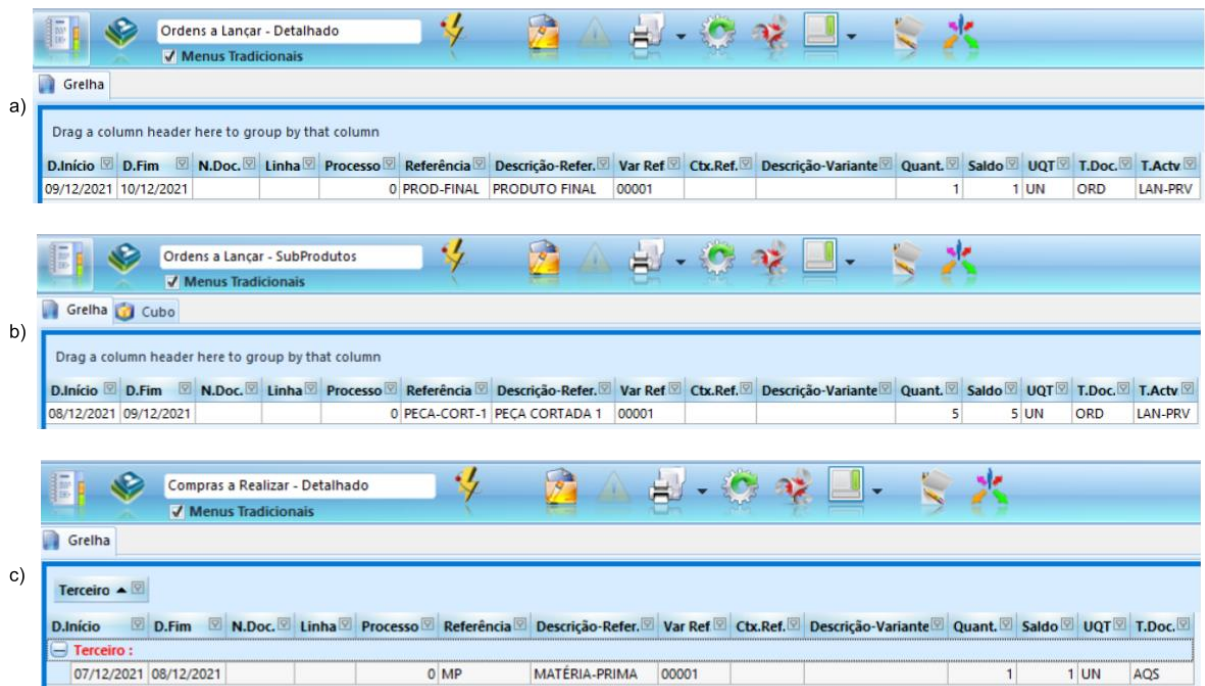


Figura 42 – Lançamentos Previstos pelo sistema GenSYS: a) do Produto Final, b) da Peça Cortada 1 e c) da Matéria-Prima

O Produto Final deve ter início de produção no dia 09/10/2021 e a Peça Cortada no dia 08/10/2021 para que a produção destes artigos consiga terminar a tempo, de modo a cumprir com a data final da encomenda. A ordem de compra da Matéria-Prima deve ser lançada pelo menos no dia 07/10/2021 para que esteja disponível na organização no dia 08/10/2021 e seja utilizada para a produção da Peça Cortada 1.

O planeamento das necessidades de capacidade, determina o perfil das necessidades de capacidade para cada um dos centros de trabalho da organização. Cada centro de trabalho agrega o tempo necessário para cada tipo de competência resultante da associação destas às operações produtivas. Para o exemplo de corte, foi criado o tipo de operação corte, como já visto, e a competência de corte.

A utilização da técnica CRP no cálculo das necessidades de capacidade e a definição dos limites de capacidade permite comparar as necessidades de capacidade com a capacidade instalada. Neste caso, a capacidade utilizada para o centro de trabalho de corte é de cinco minutos para produzir as cinco Peças Cortadas 1, no dia 09/12/2021 (Figura 43).

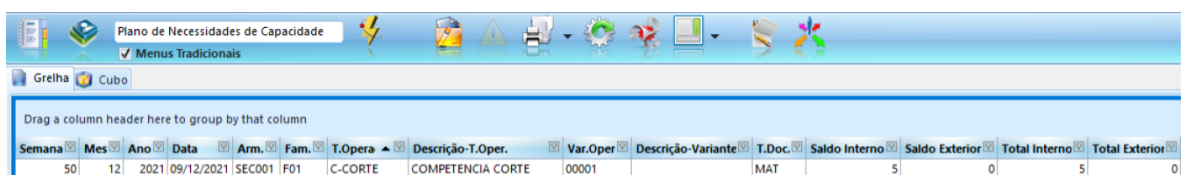


Figura 43 – Cálculo do CRP para o centro de trabalho de corte

4.3.2 Lançamento de Ordens de Produção de Produtos Agregados

Após a geração dos lançamentos previstos, estes devem ser analisados pelo responsável do planeamento da produção e, se estes estiverem corretos, é possível criar diretamente as ordens de compra para as matérias-primas e as ordens de produção para os produtos acabados e intermédios. Quando é criada uma ordem de produção no sistema, esta herda a estrutura criada no GenPDM, com os planos de consumo, os planos de devolução, caso existam, e a gama operatória. No GenPPC, as ordens de compra e de produção podem passar por vários estados ao longo da sua criação, mas, só quando estão no estado ativo é que realmente as compras são realizadas, e a as ordens de produção passam para o chão de fábrica.

Para o exemplo demonstrado, o responsável pelo planeamento ao consultar as sugestões de ordens de compra e/ou de produção dadas pelo sistema, deve saber que para satisfazer as necessidades de subprodutos, tem que criar ordens de produção de produtos classificados como agregados. Sendo que neste caso, o utilizador terá que criar uma ordem de produção da referência Plano de Corte para satisfazer as necessidades da Peça Cortada 1. Ademais, como não irão ser lançadas ordens de produção da referência de subproduto, é possível verificar que a GBOM desta referência serviu o propósito de informar o utilizador das necessidades de materiais a médio prazo.

O processo de criação de ordens de produção em GenSYS passa por identificar a referência genérica a ser produzida e a data de fim da produção da mesma. Depois de indicada a referência genérica, é necessário escolher a variante, onde são selecionados os valores para cada um dos parâmetros, e colocar a quantidade de produtos da variante escolhida a produzir.

Na criação de uma ordem de produção relativa a um produto agregado é necessário saber qual será a variante a produzir e a data em que este produto tem de estar produzido. Esta data tem de coincidir, no máximo, com a data de fim de produção que está nos lançamentos previstos do subproduto, isto é, pode ser a data final dos subprodutos, ou, uma data inferior a essa. Na Figura 44 é possível observar qual o período em que o Plano de Corte deve ser produzido, no máximo, para que os peças cortadas se encontrem disponíveis para iniciar a produção do Produto Final.

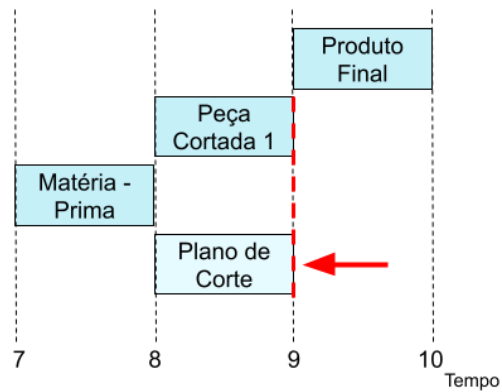


Figura 44 – Representação da data de fim de produção de um produto agregado

Considerando o diagrama da Figura 44, deverá ser criada uma ordem de produção da referência Plano de Corte com a data de fim de produção da Peça Cortada 1, sendo esta a de 09/12/2021. Na Figura 45 é possível observar a definição da ordem de produção para o Plano de Corte.

Figura 45 – Formulário para criação de uma ordem de produção

Como o GenPPC herda a estrutura presente no módulo GenPDM, depois da criação de uma ordem de produção de um produto agregado, o sistema irá reconhecer que os subprodutos modelados através de planos de devolução na GBOM do produto agregado irão ser devolvidos após a realização do processo produtivo. Assim sendo, as necessidades dos subprodutos deixarão de existir, visto que, estas irão ser satisfeitas pelos artigos que resultam do processo produtivo do produto agregado. Então, ao criar uma ordem de produção da referência referente a um produto agregado, a necessidade de lançar a ordem de produção de um subproduto desaparece automaticamente.

Para além disto, após a criação de uma ordem de produção de um produto agregado e do cálculo do MRP, os lançamentos previstos dos subprodutos transformam-se em receções programadas com a data de fim de produção do produto agregado, que coincide com o período onde se encontram as necessidades brutas dos subprodutos. Isto acontece devido à modelação realizada anteriormente no GenPDM com os planos de devolução e o prazo de entrega relativo.

Aplicando isto ao exemplo, ao criar a ordem de produção da referência Plano de Corte, os lançamentos previstos da Peça Cortada 1 são eliminados e este produto passa a ter receções programadas para o dia 09/12/2021, como é possível verificar na Figura 46.

	0	1	2	3	4
		7/12/2021	8/12/2021	9/12/2021	10/12/2021
Necessidades Brutas				5	
Receções Programadas					
Stock Disponível	0	0	0	0	0
Necessidades Líquidas				5	
Lançamentos Previstos			5		

↓

	0	1	2	3	4
		7/12/2021	8/12/2021	9/12/2021	10/12/2021
Necessidades Brutas				5	
Receções Programadas				5	
Stock Disponível	0	0	0	0	0
Necessidades Líquidas					
Lançamentos Previstos					

Demonstração da técnica de MRP para um subproduto **antes** do lançamento da ordem de produção de um produto agregado.

Demonstração da técnica de MRP para um subproduto **depois** do lançamento da ordem de produção de um produto agregado.

Figura 46 - Cálculo MRP para a Peça Cortada 1 antes e depois do lançamento da ordem de produção do Plano de Corte

Como normalmente os planos de corte são concebidos por *softwares* de *nesting* externos ao sistema GenSYS, somente após a criação da ordem de produção de um plano de corte em específico é que se sabe qual a quantidade de matéria-prima a ser utilizada e quanto tempo é que irá durar a operação de corte. No caso exemplificado, o plano de corte irá consumir duas unidades de matéria-prima, por isso, os lançamentos previstos de compra serão de duas unidades. Quanto ao consumo de tempo da operação, este altera-se para quinze minutos. Assim, após um novo cálculo do CRP, a data de produção mantém-se, mas são considerados quinze minutos (Figura 47).

Semana	Mes	Ano	Data	Arm.	Fam.	T.Opera	Descrição-T.Oper.	Var.Oper	Descrição-Variante	T.Doc	Saldo Interno	Saldo Exterior	Total Interno	Total Exterior
50	12	2021	09/12/2021	SEC001	F01	C-CORTE	COMPETENCIA CORTE	00001		ORD	15	0	15	0

Figura 47 – Cálculo do CRP para o centro de trabalho de corte depois do lançamento da ordem de produção do Plano de Corte

4.3.3 Programação da Produção

Após o planeamento da produção e a criação de ordens de produção, procede-se à programação da produção a curto prazo. Nesta etapa realiza-se a alocação e sequenciação de trabalhos aos postos, reescalonamento da produção e a monitorização das ordens de programação no chão de fábrica.

Quando a ordem de produção é lançada para o chão de fábrica, isto é, quando é ativada, é-lhe atribuído uma ordem de programação, que pode ser dividida em lotes e depois estes são associados a *kanbans*. No sistema GenSYS, mais especificamente no módulo GenPROG, é possível consultar informação relativa ao *kanban* ao qual o lote da ordem de programação está associado, como os artigos consumidos, devolvidos, as respetivas quantidades, e as operações. Para o exemplo ilustrado, é possível verificar que irão ser consumidas duas unidades de Matéria-Prima e serão devolvidas cinco unidades de Peça Cortada 1 e dez unidades da Peça Cortada 2 (Figura 48).

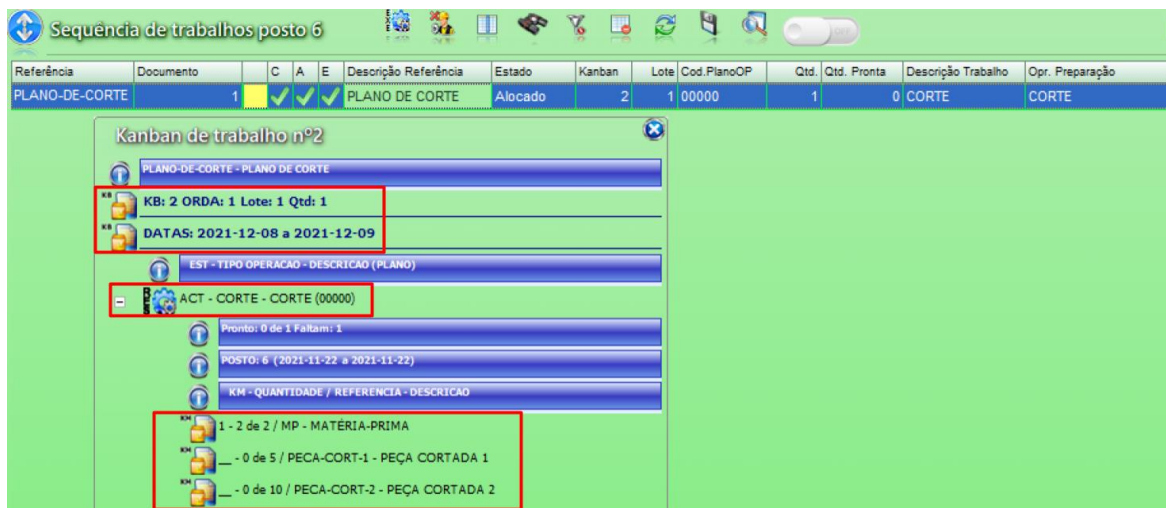


Figura 48 – Informação do kanban no módulo GenPROG

Neste momento, o trabalho pode ser alocado a um posto que tenha a habilidade para realizar a operação inicial da BOO, sendo que neste caso, o trabalho será alocado ao posto com a habilidade para executar a operação de corte. A ordem de alocação das ordens de programação à fila FIFO segue o critério da data de fim de produção, onde a ordem de programação que será produzida primeiro é aquela que tem a data com o fim de produção mais atual.

Os trabalhos só podem ser alocados à fila do posto quando reúnem todas as condições, sendo estas, ter na organização os artigos necessários para realizar a operação e a fila de posto livre. Para o exemplo do corte, depois da compra da Matéria-Prima entrar em armazém, ambas as condições se encontram confirmadas.

A sequenciação na fila do posto segue a mesma ordem que a fila FIFO, no entanto pode ser alterada a qualquer momento pelo responsável da produção. Esta pode ser sequenciada da forma que lhe convier, quer seja por exemplo uma estratégia para diminuir o número de *setups*, quer seja por exemplo a existência de ordens de produção urgentes.

Quando os trabalhos se encontram na fila do posto, pode-se dar início ao trabalho no chão de fábrica, sendo que este início é feito geralmente pelo operador da máquina, mas também pode ter um início automático, se o sistema estiver integrado com o *software* da máquina. Depois de efetuada a produção de todos os artigos que constavam na informação do *kanban*, este pode ser dado como terminado. Estas atividades são feitas pelo módulo Terminal.

Ao terminar a produção de um produto agregado é fornecida a informação de quais os subprodutos resultantes bem como a sua quantidade. Apesar da ordem de programação e do *kanban* serem de um produto agregado, como já foi mencionado, este não dá entrada em armazém, já que este não existe na realidade. Então, ao terminar um *kanban* de um produto agregado, os produtos que dão entrada em armazém são os subprodutos que se encontram na BOM do produto agregado.

Neste caso, ao concluir a ordem de programação do plano de corte, o sistema irá informar quais as peças cortadas e retalhos devolvidos daquela operação, com as respetivas quantidades. Contudo, a quantidade de peças resultantes do plano de corte pode ser alterada, ou seja, pode-se diminuir a quantidade de peças devido a um defeito, ou então aumentar o número de peças por ter sobrado matéria-prima suficiente para produzir mais algumas peças. Na Figura 49 encontra-se demonstrado um exemplo de redução para as Peças Cortadas 2, de dez unidades para nove unidades.

SubProdutos							
	Referência	Descrição da Referência	Variante	Descrição da Variante	Volume	Qty	Container
1	PEÇA-CORT-1	PEÇA CORTADA 1	00001		1	5	
2	PEÇA-CORT-2	PEÇA CORTADA 2	00001		1	10	

Quantidade

9

7	8	9
4	5	6
1	2	3
0		C
✗		✓

✗ ✓

Figura 49 – Indicação da quantidade de peças devolvidas do plano de corte

Depois de verificar e ajustar quais os subprodutos retornados do produto agregado e as suas quantidades, estes irão entrar de forma automática no armazém definido para as respetivas referências dos subprodutos, e, posteriormente, serão arrumados nesse armazém. Assim sendo, para o caso apresentado as peças cortadas entrarão no respetivo armazém destas e os retalhos poderão entrar novamente no armazém de matéria-prima. Deste modo, a empresa consegue controlar o inventário, sabendo de todas as existências, em tempo real.

Conclui-se assim que o sistema GenSYS é capaz de representar processos produtivos que devolvem, simultaneamente, vários produtos diferentes, como é o caso em certos processos de corte que podem ser modelados através de planos de corte. Neste capítulo também se verificou que para além de conseguir modelar estes processos, o sistema consegue lidar com estes no planeamento e programação da produção, de forma a satisfazer as necessidades brutas e cumprir com as datas de produção. Adicionalmente, o sistema permite acompanhar as ordens de programação, em tempo real, onde se consegue saber o que está a ser produzido em cada momento, o que ainda falta ser executado, e o que se encontra em armazém. Desta forma, o sistema GenSYS é capaz de modelar processos produtivos complexos, ao mesmo tempo que, responder aos requisitos da CM e da Indústria 4.0.

5. VANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DO SISTEMA GENSYS COM PLANOS DE CORTE

Neste capítulo são abordados dois casos de estudo reais, de forma a avaliar o desempenho do sistema GenSYS na gestão da produção com planos de corte. Para cada caso de estudo realiza-se uma pequena introdução ao seu contexto empresarial, é indicada a modelação presente para os processos produtivos de corte e, por fim, são também listados os benefícios que o sistema traz ao realizar a modelação com este tipo de gestão.

Com o primeiro caso de estudo pretende-se mostrar a modelação de um processo produtivo com um plano de corte unidimensional utilizando o modelo de referenciação genérica. Relativamente ao segundo caso de estudo, é objetivado expor a modelação de outro processo produtivo com planos de corte bidimensionais elaborados através de um *software* de *nesting*, lidando, desta forma, com uma modelação em referenciação direta.

5.1 Caso de Estudo 1: Corte de Bobines em Bandas

O primeiro caso de estudo reporta a uma empresa metalomecânica, especializada em construção metálica, corte, quinagem e perfilagem de chapa, como a produção de madres e superomegas. O foco neste capítulo será a modelação do processo de corte em 1D de aço e os resultados obtidos após esta modelação.

A nível de matéria-prima a empresa compra bobine em chapa, em quilogramas (kg), com várias espessuras, diferentes acabamentos e com três larguras: 1000, 1250, 1500 milímetros (mm). O processo produtivo começa pelo corte da bobina que dá origem a três bandas. O corte é longitudinal, como é possível observar na Figura 50, e este processo corta a bobine na sua totalidade. As larguras das bandas dependem das necessidades do planeamento, pelo que, do corte de uma bobine podem resultar bandas com diferentes larguras. O peso teórico de uma bobine em chapa é de 7800 kg e o peso de uma bobine comprada é, normalmente, de 10000 kg. Em média, cortar uma bobine de 10000 kg demora 2,5 horas (150 minutos).

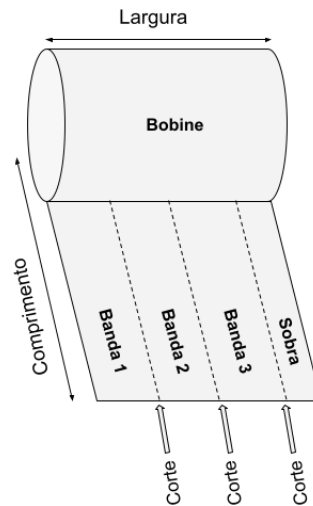


Figura 50 – Representação do corte da bobine

Sempre que se alteram as características das bandas a cortar é necessário fazer um *setup* de uma hora. Para além disto, esta empresa compra sempre no mínimo 50000 kg de bobine, ao fim de quatro dias as matérias-primas estão dentro da organização e ao fim de dois dias a empresa produz qualquer tipo de artigo.

5.1.1 Modelação do processo de corte

Em primeiro lugar é necessário identificar e criar as referências genéricas com as respetivas classes. As bobines podem ser representadas através de uma referência genérica, “Bobine”, sendo esta classificada como matéria-prima. Analisando o processo de corte é possível identificar que as bandas podem constituir uma referência genérica, “Banda”, com a classe de subproduto. A referência genérica classificada como produto agregado será denominada de “Plano de Corte”.

Para caracterizar as referências genéricas é preciso definir os tipos de parâmetro. Neste caso foram criados três tipos de parâmetros: dimensões com domínio em compreensão; acabamento e qualidade e revestimento com domínio em lista. A representação gráfica dos tipos de parâmetros encontra-se no Apêndice 1 – Caso de Estudo 1, bem com a modelação da referência “Bobine”.

Como neste caso de estudo só será avaliado o processo de corte, só é referido o tipo de operação de “Corte”. Esta operação é a que executa o corte das bandas, por isso, é necessário informar quais as bandas ser produzidas, nomeadamente, a largura destas. Com isto, a operação de “Corte” terá associado um conjunto de três parâmetros, cada um com o valor da largura de cada banda. A modelação desta operação está apresentada no Apêndice 1 – Caso de Estudo 1.

A referência genérica “Banda” pode ser caracterizada pela espessura, pela qualidade e revestimento e pela largura, tendo um conjunto de três parâmetros associados. A GBOM da “Banda” é constituída pelo

plano de consumo da referência “Bobine”, com o respetivo consumo e as relações entre os parâmetros da “Banda” com os da “Bobine”. A GBOO será composta pela operação de corte, com o seu consumo para uma banda. Como o tipo de operação “Corte” tem três parâmetros para a largura de cada banda, na GBOO da “Banda”, estes parâmetros são preenchidos com o mesmo valor, sendo relacionados com o parâmetro da largura da banda. Na Figura 51, encontra a BOMO da referência genérica “Banda”.

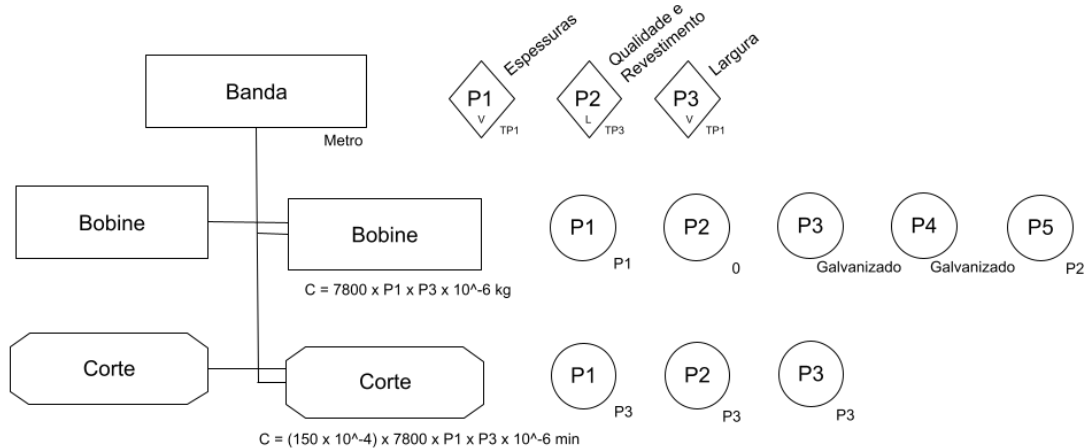


Figura 51 – Representação gráfica da BOMO da referência genérica “Banda”

A referência classificada como produto agregado, o “Plano de Corte”, também tem um conjunto de parâmetros associados. Os primeiros parâmetros dão a escolher características relativas à matéria-prima, como a sua espessura, a largura da bobine (1000, 1250, 1500 mm), a qualidade e revestimento e, por fim, o seu peso. Nos parâmetros da referência “Plano de Corte” encontram-se, ainda, as larguras das bandas a cortar.

A GBOM deste produto contém um plano de consumo referente à matéria-prima e quatro planos de devolução com base na referência “Banda”. Três destes planos de devolução indicam as três bandas retornadas do processo, e o quarto plano de devolução é criado para identificar a sobra do corte. Como o prazo de entrega de todos os produtos consumidos é de dois, o prazo de entrega relativo colocado nestes planos de devolução deverá assumir o valor de dois também. Quanto aos consumos, o da “Bobine” assume o valor colocado no parâmetro relativo ao peso da mesma. O consumo das bandas é o valor do comprimento da banda, em metros, valor que também corresponde ao comprimento total da bobine. Para chegar a este valor, é necessário ter em conta na expressão matemática o peso teórico da bobine, a sua espessura, a sua largura e o seu peso.

Relativamente à GBOO, esta tem a operação de “Corte” com o consumo de 150 minutos para 10000 kg. Os parâmetros do “Corte” são diretamente relacionados com os parâmetros do “Plano de Corte” referentes às larguras das bandas. Na Figura 52 está representada a BOMO desta referência genérica.

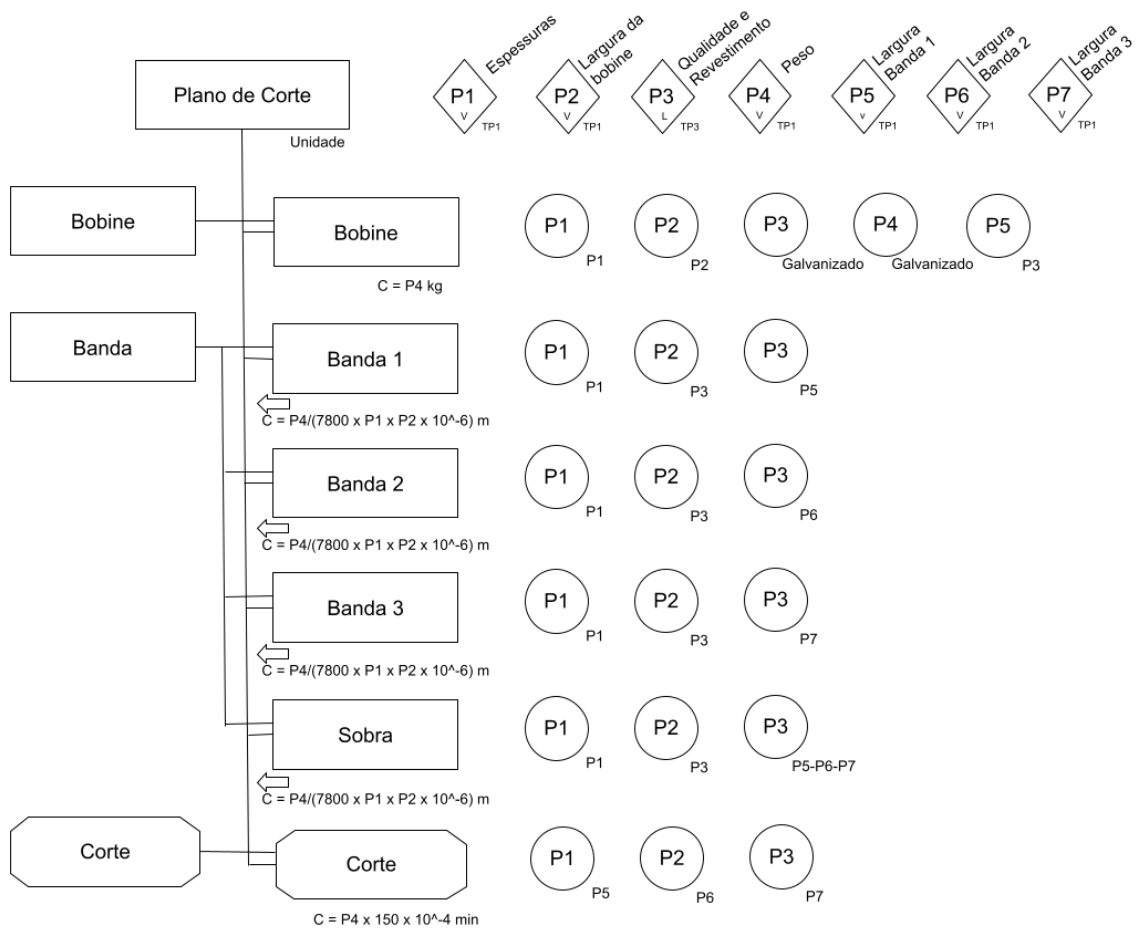


Figura 52 - Representação gráfica da BOMO da referência genérica “Plano de Corte”

5.1.2 Gestão da Produção

Para demonstrar a gestão da produção para este caso de estudo foram criadas encomendas de perfis diferentes, com a data final de dia 10/12/2021. A qualidade e revestimento para estas é sempre o mesmo, S280+Z200. A espessura escolhida para matéria-prima também é a mesma para todas as encomendas, sendo esta de dois mm. É ainda importante referir que o prazo de entrega dos produtos a produzir é de dois dias e o da matéria-prima é de quatro dias. Para além disto, nesta demonstração, o stock inicial é de zero para todos os produtos.

Após o cálculo do MRP, as encomendas geraram os seguintes lançamentos previstos para os subprodutos: uma banda com 315 mm de largura, outra com 410 mm, e outra com 650 mm, sendo o valor dos outros parâmetros iguais, para a data de 6/12/2021 (Figura 53).

D.Início	D.Fim	Referência	Descrição-Refer.	Var Ref	Descrição-Variante	Quant.	Saldo	UQT	T.Doc.	T.Actv
06/12/2021	08/12/2021	BANDA	BANDA	00002	ESPESSURAS (MM): 2;QUALIDADE E REVESTIMENTO S280+Z200;LARGURA V (MM) 410,0000;	1	1	M	ORD	LAN-PRV
06/12/2021	08/12/2021	BANDA	BANDA	00003	ESPESSURAS (MM): 2;QUALIDADE E REVESTIMENTO S280+Z200;LARGURA V (MM) 315,0000;	1	1	M	ORD	LAN-PRV
06/12/2021	08/12/2021	BANDA	BANDA	00004	ESPESSURAS (MM): 2;QUALIDADE E REVESTIMENTO S280+Z200;LARGURA V (MM) 650,0000;	1	1	M	ORD	LAN-PRV

Figura 53 – Lançamentos previstos das Bandas

O lançamento previsto de compra da matéria-prima é de 50000 kg de bobine, apesar desta quantidade ser mais do que a necessária, o tamanho de lote de planeamento da bobine é de 50000, logo, quando é preciso adquirir matéria-prima, o lançamento previsto mínimo é sempre de 50000 kg.

O resultado do MRP pode ainda ser consultado num gráfico de Gantt, através do módulo GenPLN (Figura 54). A necessidades brutas encontram-se a vermelho os lançamentos previstos a laranja.

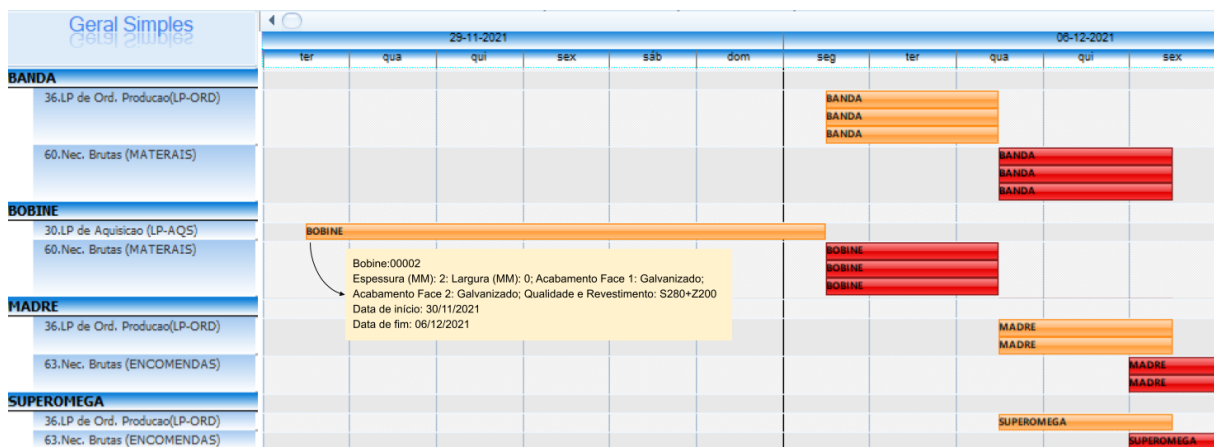


Figura 54 – Demonstração do MRP através o diagrama de Gantt no módulo GenPLN

Com o gráfico da Figura 54 é possível verificar as encomendas para dia 10/12/2021, as necessidades brutas de todos os artigos, bem com os lançamentos previstos. Para cumprir com a data final das encomendas, o lançamento da ordem de compra da bobine terá de ter início no máximo no dia 30/11/2021 para estar disponível na organização no dia 6/12/2021. As bandas devem começar a sua produção no dia 6/12/2021 para estarem prontas no dia 8/12/2021, para, posteriormente, dar início à produção dos perfis para terminar estes no dia 10/12/2021.

De forma a satisfazer os lançamentos das bandas é necessário criar uma ordem de produção de um plano de corte que contenha estas bandas específicas. Quando existem vários lançamentos previstos das bandas, para gerar uma variante de um plano de corte pode-se recorrer a um *software* de *nesting*, de modo a obter o melhor aproveitamento da matéria-prima. Neste caso, como só existem necessidades para três bandas com larguras diferentes e com os restantes parâmetros iguais, irá ser gerada uma

variante do plano de corte para estes valores de larguras. O preenchimento dos parâmetros do plano de corte está exposto na Figura 55.

Definição de referências genéricas	
Valor das variantes	Novo valor de parâmetro
Descrição	Valor
<input type="checkbox"/> ESPESSURAS (MM):	2
<input type="checkbox"/> LARGURA BOBINE (MM):	1500
<input type="checkbox"/> QUALIDADE E REVESTIMENTO	S280+Z200
PESO (KG) [UN]	10000
<input type="checkbox"/> LARGURA BANDA 1 (MM):	650
<input type="checkbox"/> LARGURA BANDA 2 (MM):	410
<input type="checkbox"/> LARGURA BANDA 3 (MM):	315
Quantidade[UN]	1

Figura 55 – Preenchimento dos parâmetros da referência genérica “Plano de Corte”

A data em que as bandas precisam de estar prontas é 8/12/2021, logo, a data de fim a colocar na ordem de produção do plano de corte é essa mesma. Com a ordem de produção do plano de corte, as necessidades líquidas das bandas são satisfeitas e estas convertem-se em receções programadas. É possível verificar isto graficamente recorrendo novamente ao módulo GenPLN, como se encontra na Figura 56, e onde é acrescentada a cor amarela que corresponde, neste caso, às ordens de produção já criadas e às receções programadas.

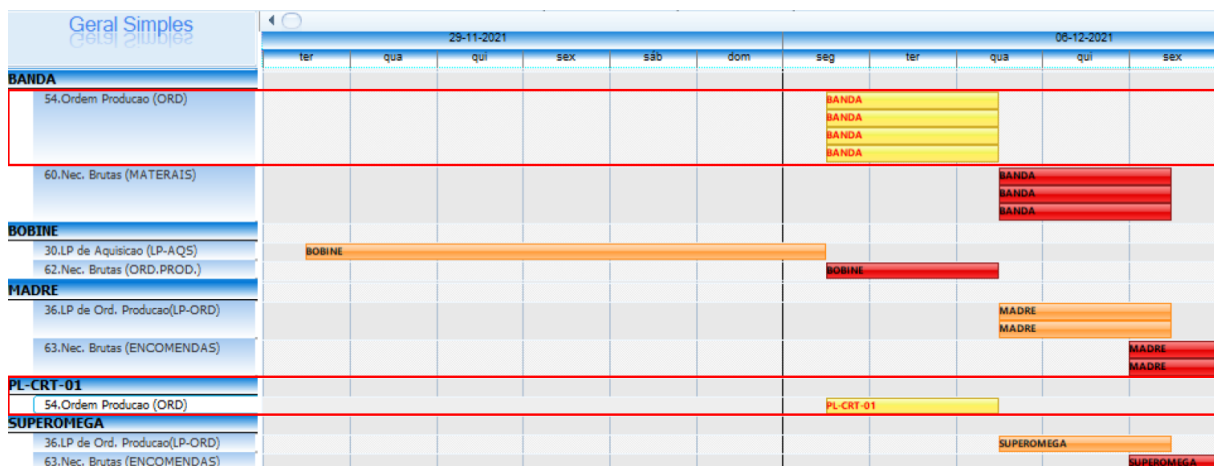


Figura 56 – Demonstração do MRP após o lançamento da ordem de produção referente ao “Plano de Corte” através o diagrama de Gantt no módulo GenPLN

Como é possível ver pelo gráfico de Gantt presente na Figura 56, os lançamentos previstos das bandas desaparecem automaticamente e estas passam a ter receções programadas. No gráfico também pode ser visualizada a ordem de produção do plano de corte, com início a 6/10/2021 e fim a 8/10/2021, assim com as receções programadas das bandas.

Quando a ordem de produção do plano de corte é colocada no estado ativo, esta passa a ter uma ordem de programação e é lhe atribuído um *kanban*, entrando na fila FIFO. Se os componentes necessários à

produção estiverem na organização, neste caso, uma bobine de 10000 kg, e a fila do posto de corte disponível, o *kanban* pode ser alocado. A sequência pelo qual é alocado, como já foi referido, segue a data de fim de produção mais recente ao momento atual. No entanto, como é necessário realizar um *setup* de 1 hora quando as características da banda são alteradas, a sequenciação pode ser alterada de modo a reduzir o número de *setups* a executar.

Após a alocação do *kanban*, o operador no chão de fábrica pode dar início ao *kanban*, pelo módulo Terminal, e, depois de cortar o plano de corte, terminá-lo. Neste módulo, no fim da operação é mostrada uma janela com os subprodutos que foram devolvidos. Na Figura 57, é possível ver essa janela com as três bandas resultantes e a sobra.

SubProdutos							
	Referência	Descrição da Referência	Variante	Descrição da Variante	Volume	Qtd	Container
1	BANDA	BANDA	00004	ESPESSURAS (MM): 2;QUALIDADE E REVESTIMENTO S280+Z200;LARGURA V (MM) 650,0000; ➡ Banda 1	1	427,35	
2	BANDA	BANDA	00002	ESPESSURAS (MM): 2;QUALIDADE E REVESTIMENTO S280+Z200;LARGURA V (MM) 410,0000; ➡ Banda 2	1	427,35	
3	BANDA	BANDA	00003	ESPESSURAS (MM): 2;QUALIDADE E REVESTIMENTO S280+Z200;LARGURA V (MM) 315,0000; ➡ Banda 3	1	427,35	
4	BANDA	BANDA	00005	ESPESSURAS (MM): 2;QUALIDADE E REVESTIMENTO S280+Z200;LARGURA V (MM) 125,0000; ➡ Sobra	1	427,35	

Figura 57 – Identificação das bandas devolvidas depois de terminada a operação de corte

As três bandas são deslocadas e arrumadas no armazém respetivo para elas. Já a sobra da bobine volta para o armazém de matérias-primas, onde é arrumada e pode ser posteriormente reutilizada.

5.1.3 Vantagens da utilização do sistema GenSYS no Caso de Estudo 1

Com este caso de estudo é possível verificar certas vantagens que o sistema GenSYS é capaz de oferecer com a solução proposta. Primeiramente, através do modelo presente no módulo GenPDM, com os conceitos de produto agregado e subproduto, é possível representar e modelar os processos produtivos de onde resultam dois ou mais produtos simultaneamente, como é o caso dos processos de corte.

Ainda, a solução para a gestão de informação de artigos apresentada segue o modelo de referenciação genérica permitindo uma redução do número de códigos de identificação necessários para representar os produtos comparativamente com os que seriam nos modelos de referenciação direta. Assim, o sistema GenSYS consegue lidar com uma grande diversidade de artigos e ambientes de CM, mesmo na modelação de processos mais complexos.

A nível de PCP, o GenSYS permite uma redução de esforço para o utilizador, quando este realiza o planeamento da produção. Se o processo de corte deste caso de estudo fosse modelado de forma

convencional, para as três bandas que tinham lançamentos previstos, teriam de ser criadas três ordens de produção para satisfazer as necessidades. No entanto, ao criar uma só ordem de produção de um plano de corte que devolve essas mesmas bandas, deixou de ser necessário lançar as três ordens de produção. Por conseguinte, no curto prazo, em vez de ter três ordens de programação com três *kanbans*, só existe uma ordem de programação e o respetivo *kanban* atribuído, reduzindo o esforço de alocação de trabalhos aos postos. Ademais, como o número de ordens de produção e ordens de programação é mais reduzido, não é gerada tanta informação no PCP, tornando esta mais fácil de analisar.

Para além disto, se este processo de corte fosse modelado como os restantes processos convencionais no sistema, não seria possível considerar a sobra da bobine e colocá-la em inventário automaticamente. Se existir sobra da bobine e não for aplicado o modelo apresentado, esta sobra teria de ser reintroduzida no sistema de forma manual, consumindo tempo e recursos. Então, para considerar as sobras de qualquer processo produtivo, em GenSYS, é necessário recorrer ao conceito de subproduto e modelar este numa lista de materiais através de um plano de devolução.

Com a modelação apresentada neste caso de estudo foi verificado que todos os produtos que resultam de um plano de corte, quer os produtos com necessidades, as bandas, quer as sobras do processo, a sobra da bobine, entram todos nos respetivos armazéns. Assim, depois de terminado o processo produtivo de um produto agregado, todos os subprodutos que foram devolvidos desse mesmo produto entram em armazém. O sistema GenSYS permite, desta forma, que a organização tenha sempre os stocks atualizados e com as quantidades corretas. Isto facilita a gestão de inventários, fornecendo sempre informação correta em tempo real.

5.2 Caso de estudo 2: Corte 2D de chapa metálica

Este caso de estudo foi desenvolvido numa empresa pertencente à indústria metalomecânica, que produz vários tipos de máquinas industriais, tendo uma gama de produtos finais grande. Cada um destes produtos tem uma estrutura de produto com diversos níveis, com muitos produtos intermédios.

O processo de fabrico desta empresa inicia-se pelo corte de chapa de metal, processo no qual vai incidir este subcapítulo. Este processo ocorre para quase todos os produtos intermédios e é realizado por duas máquinas de corte a laser. Antes de dar início à operação de corte, esta é preparada, onde é traçado um plano de corte, para uma chapa de aço, com um determinado padrão de corte contendo vários itens a ser cortados. Os planos de corte são normalmente elaborados para uma chapa de aço de 4,5 metros

quadrados, no entanto, podem ser feitos para retalhos da chapa de aço que restaram de outras operações de corte.

Após a operação de corte, as peças que resultam deste processo podem seguir vários caminhos, realizando outras operações para dar origem a um produto intermédio. Na Figura 58 encontra-se um exemplo recorrente na empresa, onde uma chapa de aço entra para a operação de corte a laser e depois os itens cortados passam pela operação de quinagem produzindo um produto semiacabado.

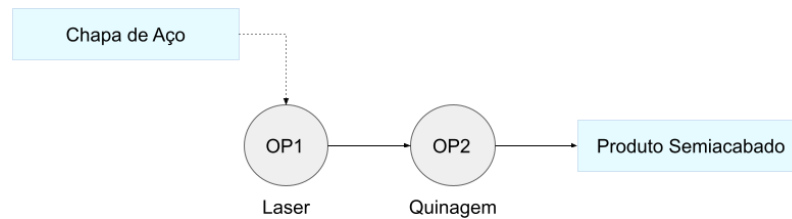


Figura 58 – Representação do processo produtivo de um produto semiacabado

5.2.1 Modelação do processo de corte

Como do processo de corte normalmente resultam várias peças diferentes, para representar este processo no sistema GenSYS foi utilizado o modelo com os conceitos de produto agregado e subprodutos. As peças cortadas são classificadas como subprodutos, neste caso, denominadas peças laser, e o produto agregado será o próprio plano de corte, que representa o documento com a informação da matéria-prima e o padrão de corte.

Para parametrizar o componente classificado como subproduto, teve de ser criado mais um nível na BOM de todos os produtos intermédios da empresa. Por exemplo, o diagrama representado na Figura 58 foi reestruturado com mais um nível para identificar o componente que resulta do processo de corte. Esta alteração pode ser observada na Figura 59, onde foi acrescentado um nível com o componente laser.

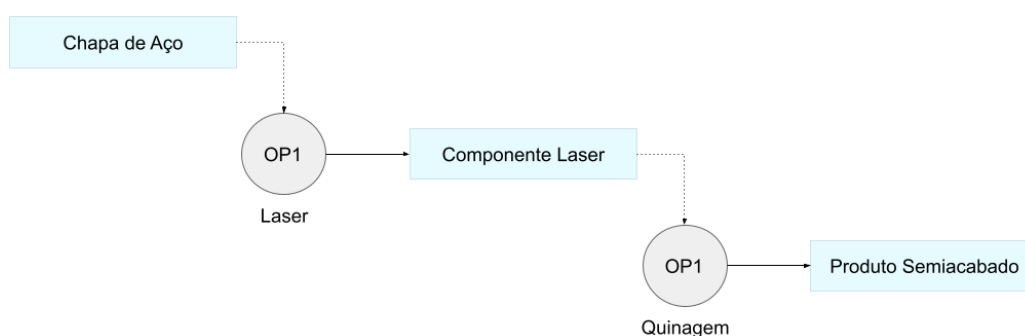


Figura 59 – Representação do processo produtivo de acordo com a modelação em GenSYS

A BOM do componente laser é composta pela referência da chapa de aço a utilizar, e no consumo é colocada uma estimativa da área que esse componente ocupa numa chapa. A BOO deste componente tem a operação laser, onde também é colocada uma estimativa da duração para o corte do mesmo.

Relativamente ao plano de corte, este é elaborado através de um *software* de *nesting*, que agrupa várias peças e gera planos de corte consoante as necessidades destas no momento atual, criando para cada plano de corte um código único. O sistema GenSYS importa a informação que advém deste *software*, portanto, cada plano de corte modelado no GenPDM corresponde a uma referência direta. O código e a designação para cada plano de corte no GenPDM é o mesmo que está presente no sistema de otimização.

Apesar de cada plano de corte representar um código único, o modelo implementado na integração entre os dois sistemas é baseado na referenciação genérica. O módulo GenPDM utiliza um conceito denominado de *template* para criar referências que tenham uma estrutura, quer seja a BOM e/ou a BOO, bastante semelhante. Os *templates* podem ser utilizados para criar matérias-primas produtos semiacabados ou produtos acabados. Após a criação de um *template* para uma referência, este é utilizado para criar referências em massa.

Neste caso de estudo, os planos de corte têm em comum a sua BOO com a operação de corte, logo pode ser criado um *template* para estes artigos. Este é preenchido com a informação presente nos próprios planos de corte que vêm do *software* de otimização, como a chapa a ser utilizada (chapa ou retalho), o tamanho e a quantidade desta, quais os retalhos devolvidos, o tipo e o tempo de duração da operação de corte. Na Figura 60 estão apresentados os parâmetros para o plano de corte e os tipos de parâmetros encontram-se no Apêndice 2 – Caso de Estudo 2.

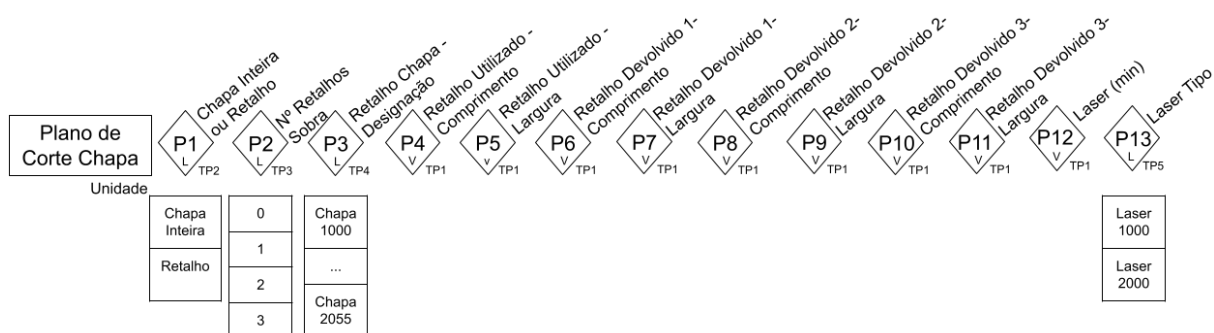


Figura 60 – Representação do *template* da referência "Plano de Corte Chapa"

Esta referência do plano de corte é ainda caracterizada com o atributo relativo ao tamanho de lote de produção, que assume sempre o valor de um. Isto significa a quantidade de cada lote de produção (*kanban*) é de um, obrigando cada plano de corte a ser produzido um de cada vez.

Para construir a BOM do plano de corte é criado o plano de consumo para a matéria-prima, com o consumo real utilizado de chapa inteira ou retalho. É ainda retirada a informação do plano de corte relativa às peças que são devolvidas, bem como as suas quantidades. Assim sendo, são criados tantos planos de devolução quanto o número de peças diferentes devolvidas do plano de corte. Os retalhos também são introduzidos na BOM através de planos de devolução, e como é visível pelos parâmetros da referência do plano de corte, cada plano de corte pode ter no máximo três retalhos de sobra, logo três planos de devolução.

No Anexo 1 – Exemplo de um plano de corte encontra-se um exemplo de um plano de corte com a informação que é transmitida para o módulo GenPDM assinalada. A BOM para este plano de corte em específico tem um plano de consumo e dois planos de devolução (Figura 61). Em relação à matéria-prima, o plano de corte faz uso de uma chapa inteira, logo, o consumo é de 4,5 metros quadrados. Quanto às peças devolvidas, este plano de corte só contempla uma peça específica a cortar na quantidade de 180, sendo que no plano de devolução desta peça o consumo é de 180 unidades. O outro plano de devolução diz respeito ao retalho de chapa devolvido.

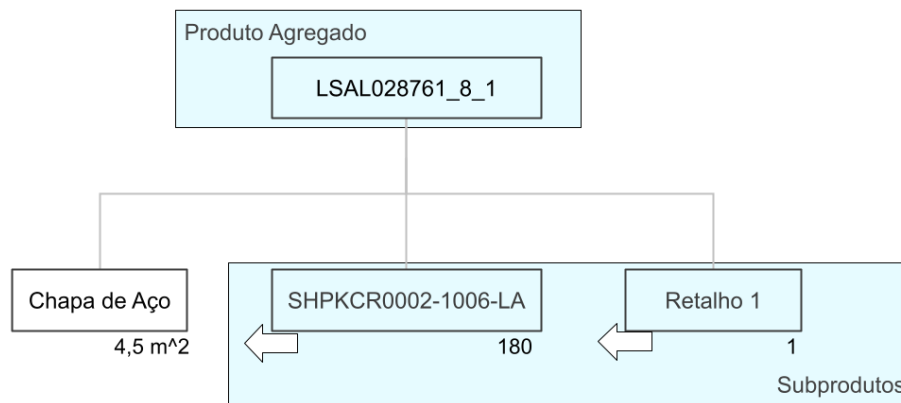


Figura 61 – Representação da BOM de um plano de corte específico

Relativamente à BOO, esta é constituída pela operação de corte a laser, onde estão identificados os tipos de laser disponíveis, isto é, a distinção entre os dois tipos de laser das duas máquinas, Laser 1000 e Laser 2000. O consumo para a operação laser é diretamente retirado do documento do plano de corte.

Após a elaboração e modelação do plano de corte, é possível criar a ordem de produção para esse mesmo plano de corte e, desta forma, satisfazer as necessidades dos componentes laser. A quantidade de planos de corte a serem produzidos depende da quantidade de peças laser necessárias. De forma sucinta, a ordem de produção quando ativa passa para o chão de fábrica, sendo-lhe atribuída uma ordem de programação e tantos *kanbans* quantos necessários de forma a cumprir com o atributo do tamanho de lote de produção de um. Depois da alocação dos trabalhos às respetivas máquinas, cada plano de

corte é executado, onde de seguida as peças laser são deslocadas e arrumadas nos respetivos armazéns. Já os retalhos são deslocados e arrumados no armazém da matéria-prima para uso posterior.

5.2.2 Vantagens da utilização do sistema GenSYS no Caso de Estudo 2

Através deste caso de estudo, é possível observar que para utilizar a solução proposta é necessário criar referências intermédias e modelar todos os itens cortados. Inicialmente, cada artigo tinha uma lista de materiais e uma gama operatória individual, no entanto, para a implementação da solução apresentada, com o plano de corte classificado como um produto agregado, é necessário identificar as peças resultantes do plano de corte. Estas peças são classificadas como subprodutos e por isso partilham a mesma lista de materiais e gama operatória. Se os artigos tiverem uma parte da gama operatória individual, para além da parte partilhada, estes artigos devem sofrer uma reestruturação de forma a terem na sua gama operatória somente a parte individual, passando a parte partilhada para o plano de corte. Neste caso, a operação de corte laser, como é partilhada pelos itens cortados, deve ser retirada da gama operatória individual dos artigos.

Assim, a solução apresentada para a modelação dos planos de corte implica reestruturar a lista de materiais e a gama operatória dos produtos semiacabados ou acabados que têm a operação de corte. Na lista de materiais é preciso acrescentar mais um nível, criando referências para os subprodutos. A gama operatória fica dividida, na qual a operação que realiza o corte, a parte da gama operatória partilhada, passa para a gama operatória do plano de corte e as restantes operações, a gama operatória individual continuam a fazer parte de cada artigo semiacabado ou acabado. Ainda, depois dos subprodutos resultarem do plano de corte, estes não podem sofrer mais nenhuma transformação, pois não é possível adicionar mais operações à sua gama operatória, implicando a reestruturação das estruturas dos produtos semiacabados ou acabados. Para além disto, esta solução pode resultar em mais informação para modelar e gerir no PDM. No entanto, a modelação do processo de corte com os produtos agregados e subprodutos apresenta certas vantagens, comparativamente a não realizar a modelação de processos de corte recorrendo a estes conceitos.

A modelação descrita permite representar de forma correta o que realmente acontece no chão de fábrica. Sem a utilização deste modelo, no módulo GenPDM não existiriam as referências relativas aos componentes cortados e não era guardada a informação relativa aos planos de corte. Assim, com esta modelação a empresa tem acesso a mais informação detalhada no PDM, visto ter guardada informação referente a todas as peças cortadas e aos planos de corte. Ademais, se existir a necessidade de rastrear

o que já foi ou está a ser produzido, isto é, querer saber quais os planos de corte e que peças são obtidas a partir destes, esta informação fica toda registada.

Ao utilizar o conceito de produto agregado para representar os planos de corte, na lista de materiais de um plano de corte específico consta o consumo real da matéria-prima a utilizar. Logo, quando é criada uma ordem de produção para esse plano de corte e esta passa para o chão de fábrica, é deslocada a quantidade exata de matéria-prima necessária para o posto de trabalho. Se este conceito não fosse utilizado, a quantidade de matéria-prima deslocada iria ser uma quantidade aproximada e não a estritamente necessária.

Para além disto, tal como no outro caso de estudo, com a existência do conceito de produto agregado e dos subprodutos, verifica-se a possibilidade de identificar os retalhos que sobram da operação de corte, e como estes reentram automaticamente em armazém após a execução do trabalho para serem reutilizados no futuro.

Deste modo, todas as alterações que acontecem em inventário, quer redução da matéria-prima, quer aumento pela entrada dos subprodutos, estão sempre corretas e alinhadas com o que acontece na realidade. O GenSYS permite, assim, que o inventário esteja sempre atualizado, com as quantidades de existências corretas, fazendo o controlo de stocks em tempo real.

Como também foi referido no outro caso de estudo, esta modelação permite uma redução de esforço no PCP. Neste caso é possível analisar de forma clara a redução do número de ações realizadas visto que usualmente um plano de corte de corte contem muitos itens diferentes a ser cortados. Por exemplo, se for necessário cortar cinco peças diferentes que utilizem a mesma matéria-prima, como na Figura 62, será necessário criar cinco ordens de produção distintas.

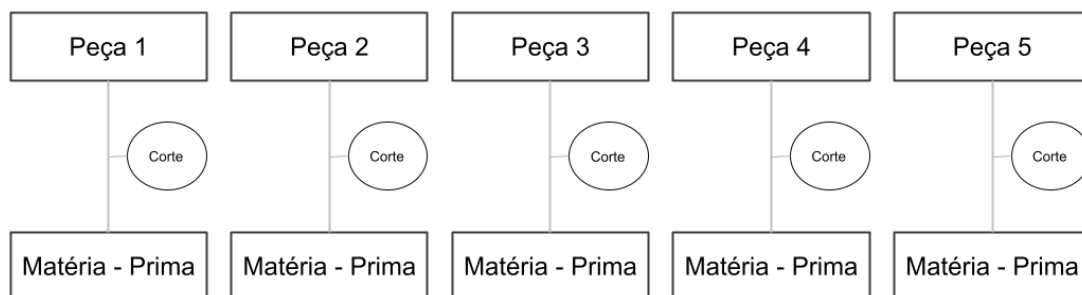


Figura 62 – Exemplo da operação de corte sem aplicação da solução

No entanto, ao utilizar a solução apresentada, modelando um plano de corte que consiga conter essas cinco peças diferentes, como na Figura 63, no médio prazo só será lançada uma ordem de produção em vez de cinco ordens de produção.

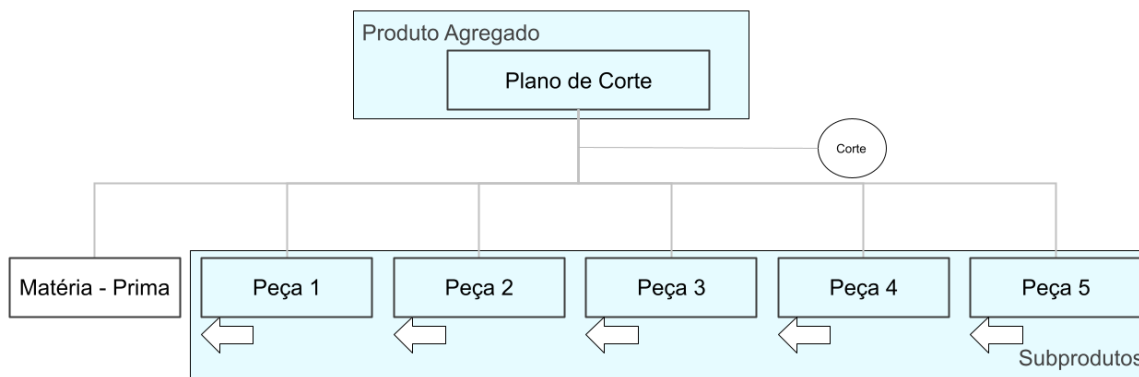


Figura 63 – Exemplo da operação de corte com aplicação da solução

O mesmo acontece para o curto prazo, onde terá de ser alocada uma ordem de programação ao invés de cinco ordens de programação. Considerando um cenário, onde estas peças tenham num dia necessidades brutas de dez unidades, para satisfazer essas necessidades e não aplicado o modelo apresentado será necessário criar 50 ordens de produção e alocar estas. Ao aplicar o modelo será apenas necessário criar 10 ordens de produção para cada plano de corte, e depois alocar estas ao posto de trabalho. Assim sendo, como está representado na Tabela 2, nesse dia será necessário realizar 20 ações se for utilizado o modelo com os conceitos de produto agregado e subproduto, em comparação com as 100 ações necessárias se não forem utilizados esses conceitos.

Tabela 2 – Demonstração do número total de ações que necessitam de ser realizadas com e sem aplicação do modelo apresentado

5 Planos de devolução	Sem aplicação do modelo	Com aplicação do modelo
Ordens de produção	5 x 10 = 50	1 x 10 = 10
Alocação de trabalhos	5 x 10 = 50	1 x 10 = 10
Total	100 ações	20 ações

Na empresa deste segundo caso de estudo realizam-se vários planos de corte ao dia, logo, é notória a redução de esforço no PCP.

Ao longo deste projeto a solução para a gestão de informação de artigos foi tratada segundo o modelo de referência genérica. No entanto, com este caso de estudo é possível verificar que o sistema GenSYS também consegue lidar com referência direta. Este sistema adapta-se ao sistema de *nesting* presente na empresa de forma a retirar toda a informação necessária deste *software*. O GenSYS tem por base a referência genérica com a utilização de *templates* que modelam de forma genérica as referências consoante a gama opertória destas. Neste caso, o *template* do plano de corte já contempla os parâmetros que o caracterizam e a operação de corte. Os planos de consumo e planos de devolução

só são acrescentados depois do plano de corte ser traçado. Os subprodutos também têm um *template* com os respectivos parâmetros e a operação de corte.

Os planos de corte que resultam de *softwares* de otimização são normalmente elaborados depois de conhecer as necessidades para cada item a ser cortado, e, por isso, o resultado final são planos de corte únicos que nunca se repetem. No entanto, apesar de lidar com referência direta, o sistema GenSYS através dos seus conceitos e do modelo de referência genérica implementado também consegue ajudar as empresas no processo de normalização da diversidade.

Para isto, devem ser criados planos de corte pré-definidos, onde podem ser agrupados produtos da mesma família ou produtos que vão ser consumidos no mesmo produto “pai”. Por exemplo, neste caso de estudo, a empresa já tem conhecimento de quais as peças laser necessárias para um certo produto final, como uma máquina industrial, então estas peças podem ser agrupadas, e posteriormente, podem ser dispostas na chapa metálica da melhor forma recorrendo ao *software* de *nesting*. Assim, sempre que for necessário produzir uma máquina industrial, já se tem conhecimento de quais os planos de corte a utilizar, alterando-se somente as suas características. Desta forma, não é necessário estar à espera das necessidades das peças laser e agrupá-las somente no momento para criar um plano de corte único.

Assim sendo, ao utilizar o modelo de referência genérica presente no sistema GenSYS e criando planos de corte pré-definidos, deixa de ser necessário criar planos de corte únicos, reduzindo a informação e a sua introdução no PDM. Deste modo, o sistema GenSYS auxilia as empresas a padronizar a diversidade com a utilização dos seus conceitos, não sendo necessário esperar pelas necessidades a cada momento para criar planos de corte únicos. A padronização da diversidade é um tópico ainda mais relevante devido ao paradigma da CM com o aumento da diversidade de produtos.

6. CONCLUSÕES

Neste projeto de dissertação foi proposto identificar os conceitos e modelos de referência genérica implementados no sistema GenSYS para representar informação sobre planos de corte, listas de materiais e gamas operatórias. E apresentar uma solução para a gestão de informação de artigos com base nesses conceitos.

Os planos de corte agregam vários produtos a serem cortados na mesma operação. Do processo de corte resultam, por norma, dois ou mais produtos distintos simultaneamente. Deste modo, os conceitos apresentados devem ter a capacidade de representar os processos de onde resultam dois ou mais produtos diferentes ao mesmo tempo, utilizando a mesma entrada de artigos. Assim sendo, nesta dissertação foram apresentados e descritos vários conceitos presentes no GenPDM para conseguir modelar processos de co-produção.

Primeiramente, foram abordados os conceitos de subproduto e de produto agregado, como sendo classes de artigos. Um produto é classificado como agregado quando do processo produtivo podem resultar, simultaneamente, dois ou mais produtos utilizando a mesma entrada de artigos. Os produtos que derivam do produto agregado são denominados por subprodutos. Foram também exploradas as listas de materiais e as gamas operatórias para estes produtos e qual o seu propósito. Na lista de materiais do produto agregado também foram expostos os conceitos de plano de devolução e prazo de entrega relativo.

Depois de todos os conceitos identificados e explanados, foi apresentada uma solução para a gestão de informação de artigos para a representação de processos onde se obtém vários produtos diferentes, recorrendo a um exemplo de um plano de corte. No entanto, com esta solução também é possível modelar outros processos produtivos de co-produção, nomeadamente processos de desmontagem, processos de química, processos de onde resultam sobras que podem ser contabilizadas, entre outros.

Com a modelação apresentada é possível representar no sistema informático o que acontece na realidade, e no caso de processos com planos de corte, é guardada a informação relativa aos planos de corte, às peças cortadas, e aos retalhos que sobram do processo. Assim, o GenPDM tem toda a informação de forma acessível e detalhada. Ainda, com a utilização da referência genérica, o esforço de introdução de informação sobre os artigos é reduzido.

Para além de representar estes processos de co-produção no PDM, era pretendido mostrar como este modelo consegue satisfazer as restantes áreas funcionais de um SPCP que vão utilizar a informação

presente no PDM, ou seja, analisar a integração da solução com os processos de planeamento e controlo da produção e de programação da produção.

A médio prazo, foi verificado que a modelação dos produtos classificados como subprodutos serve o propósito de fornecer uma estimativa dos materiais e das capacidades necessárias, já que não são lançadas ordens de produção desta referência. Ainda neste nível, foi verificado que uma ordem de produção de um produto agregado consegue satisfazer as necessidades dos subprodutos que estão presentes na BOM desse mesmo produto agregado. Ao satisfazer essas necessidades, os lançamentos previstos dos subprodutos são anulados e estes produtos passam a ter receções programadas.

A curto prazo, a ordem de programação do produto agregado é alocada ao posto de trabalho e depois de terminado o trabalho os subprodutos que resultam do processo produtivo dão entrada em armazém. Relativamente ao produto agregado, sendo que este é um conceito e não um artigo físico, com o propósito de dar origem a vários produtos, este não dá entrada em armazém.

Para solidificar estes conceitos e analisar o impacto da solução foram explorados dois casos de estudo, de onde foram retiradas as vantagens da utilização do sistema GenSYS na gestão da produção com planos de corte.

Com a solução apresentada, foi possível observar que tanto a nível de médio prazo como a curto prazo, existe uma redução de esforço para o utilizador, pois o número de ordens de produção criadas e o número de trabalhos alocados é inferior comparativamente a não aplicar a solução e modelar da forma convencional.

Este modelo tem a capacidade de considerar todos os produtos que resultam de um processo, quer estes tenham necessidades brutas ou não, e após o término do processo transformativo, todos estes produtos entram em armazém. Deste modo, o sistema GenSYS permite uma gestão de inventários eficiente, fornecendo dados fidedignos em tempo real.

Adicionalmente, através da solução apresentada e da referenciação genérica, o sistema GenSYS consegue criar referências para planos de corte pré-definidos, diminuindo a informação no PDM e reduzindo novamente o esforço de introdução de informação sobre os artigos. Sendo assim capaz de auxiliar as empresas no processo de padronização da diversidade dos produtos.

Ainda o sistema GenSYS permite controlar e monitorizar a produção em tempo real, sabendo exatamente o que está a acontecer em cada momento, tendo uma visão sobre as atividades da fábrica e a gestão de

inventários. Desta forma, com o sistema GenSYS é possível realizar a digitalização de uma empresa, criando um *digital twin* e tornando as empresas em fábricas inteligentes.

Concluindo, o sistema GenSYS é um sistema flexível capaz de se adaptar a várias situações e modelar processos mais complexos. Conseguindo lidar com ambientes de grande diversidade de artigos, como acontece no paradigma de CM, e respondendo aos requisitos impostos pela Indústria 4.0.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bertrand Will, J. M., & Wortmann, J. C. (1992). Information systems for production planning and control: Developments in perspective. *Production Planning and Control*, 3(3), 280–289. <https://doi.org/10.1080/09537289208919400>
- Blecker, T., & Friedrich, G. (2006). *Mass Customization: Challenges and Solutions*. Springer's International Series.
- Bonney, M. (2000). Reflections on production planning and control (PPC). *Gestão & Produção*, 7(3), 181–207. <https://doi.org/10.1590/s0104-530x2000000300002>
- Cardós, M., & Miralles, C. (2007). An Heuristic Planning Algorithm for the Discrete Manufacturing Industry With Reverse BOM and Alternative Structures. *19th International Conference on Production Research*.
- Caridi, M., & Cavalieri, S. (2004). Multi-agent systems in production planning and control: An overview. *Production Planning and Control*, 15(2), 106–118. <https://doi.org/10.1080/09537280410001662556>
- Carvalho, D. (2000). *Planeamento e Controlo da Produção. Capítulo I*.
- Chang, S. H., Lee, W. L., & Li, R. K. (1997). Manufacturing bill-of-material planning. *Production Planning and Control*, 8(5), 437–450. <https://doi.org/10.1080/095372897235019>
- Chatras, C., Giard, V., & Sali, M. (2016). Mass customisation impact on bill of materials structure and master production schedule development. *International Journal of Production Research*, 54(18), 5634–5650. <https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1194539>
- Chryssolouris, G., Papakostas, N., & Mourtzis, D. (2000). A decision-making approach for nesting scheduling: A textile case. *International Journal of Production Research*, 38(17), 4555–4564. <https://doi.org/10.1080/00207540050205299>
- Crama, Y., Pochet, Y., & Wera, Y. (2001). A discussion of production planning approaches in the process industry. *CORE Discussion Papers*, 7(2001), 1–33.
- Cunningham, M., Higgins, P., & Browne, J. (1996). A decision support tool for planning bills-of-material. *Production Planning and Control*, 7(3), 312–328. <https://doi.org/10.1080/09537289608930357>
- Da Silveira, G., Borenstein, D., & Fogliatto, F. S. (2001). Mass customization: Literature review and research directions. *International Journal of Production Economics*, 72(1), 1–13. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(00\)00079-7](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(00)00079-7)
- Duncan, R. M. (1983). The By-product Bill of Material. *APICS Conference Proceedings*, 288–292.
- Erjavec, J., Gradisar, M., & Trkman, P. (2009). Renovation of the cutting stock process. *International Journal of Production Research*, 47(14), 3979–3996. <https://doi.org/10.1080/00207540801935624>
- Fogliatto, F. S., Da Silveira, G. J. C., & Borenstein, D. (2012). The mass customization decade: An updated review of the literature. *International Journal of Production Economics*, 138(1), 14–25. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.03.002>
- Fragoso, B. L., Fandino, S. B., & Paixao, A. C. (2015). Uma abordagem sobre os impactos da lista de materiais no processo produtivo. Um estudo de caso em uma indústria produtora de equipamentos

para a distribuição de combustíveis. *XXXV Encontro Nacional De Engenharia De Produção: Perspectivas Globais Para a Engenharia de Produção*.

- Fransoo, J. C., & Rutten, W. G. M. M. (1994). A Typology of Production Control Situations in Process Industries. *International Journal of Operations & Production Management*, 14(12), 47–57. <https://doi.org/10.1108/01443579410072382>
- Frazzon, E. M., Kück, M., & Freitag, M. (2018). Data-driven production control for complex and dynamic manufacturing systems. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 67(1), 515–518. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2018.04.033>
- Galvez, J. L. A. P. (2014). *Abordagem do Problema de Cutting Stock na Indústria Florestal*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Ganesh, K., Mohapatra, S., Anbuudayasankar, S. P., & Sivakumar, P. (2014). *Enterprise Resource Planning Fundamentals of Design and Implementation*. <http://www.springer.com/series/10101>
- Garcia-Sabater, J. P., Maheut, J., & Marin-Garcia, J. A. (2013). A new formulation technique to model materials and operations planning: The generic materials and operations planning (GMOP) problem. *European Journal of Industrial Engineering*, 7(2), 119–147.
- Gilmore, J. H., & Pine, B. J. (1997). The four faces of mass customization. *Harvard Business Review*, 75(1), 91–101.
- Gomes, J. P. (2014). *Metodologia para apoio à implementação de um modelo de referência genérica de artigos*. Universidade do Minho.
- Gomes, J. P., Lima, R. M., & Martins, P. J. (2009). Analysis of generic product information representation models. *IEEM 2009 - IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, 194–198. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2009.5373387>
- Gomes, J. P., Martins, P. P., & Lima, R. M. (2011). Benefícios e desafios da Customização em Massa. *ENEGI*, 2005–2007.
- Gupta, S. M., & Taleb, K. N. (1994). Scheduling disassembly. *International Journal of Production Research*, 32(8), 1857–1866. <https://doi.org/10.1080/00207549408957046>
- Hegge, H. M. H., & Wortmann, J. C. (1991). Generic bill-of-material: a new product model. *International Journal of Production Economics*, 23, 117–128.
- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016). Design principles for industrie 4.0 scenarios. *Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences, 2016-March*, 3928–3937. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2016.488>
- Hitomi, K. (1996). *Manufacturing Systems Engineering* (Second Edi). Taylor & Francis.
- Jacobs, F. R., Berry, W. L., Whybark, D. C., & Vollmann, T. E. (2011). Manufacturing Planning and Control for Supply Chain Management. In *Journal of Materials Processing Technology* (Sixth Edit, Vol. 1, Issue 1). The McGraw-Hill/Irwin.
- Jiao, J., Tseng, M., Ma, Q., & Zou, Y. (2000). Generic Bill-of-Materials-and-Operations for High-Variety Production Management. *Concurrent Engineering: Research and Applications*, 63(3), June/July, 297–321. <https://doi.org/10.4324/9781315842783-17>
- Kang, H. S., Lee, J. Y., Choi, S., Kim, H., Park, J. H., Son, J. Y., Kim, B. H., & Noh, S. Do. (2016). Smart manufacturing: Past research, present findings, and future directions. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing - Green Technology*, 3(1), 111–128.

<https://doi.org/10.1007/s40684-016-0015-5>

- Kotha, S. (1995). Mass customization: implementing the emerging paradigm for competitive advantage. *Strategic Management Journal*, *16*, 21–42. [https://doi.org/10.1016/0024-6301\(95\)99969-7](https://doi.org/10.1016/0024-6301(95)99969-7)
- Krenczyk, D., & Jagodzinski, M. (2015). ERP, APS and simulation systems integration to support production planning and scheduling. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, *368*, 451–461. https://doi.org/10.1007/978-3-319-19719-7_39
- Kucharska, E., Grobler-Dębska, K., Gracel, J., & Jagodziński, M. (2015). Idea of impact of ERP-APS-MES systems integration on the effectiveness of decision making process in manufacturing companies. *Communications in Computer and Information Science*, *521*, 551–564. https://doi.org/10.1007/978-3-319-18422-7_49
- Kumar, S. A., & Suresh, N. (2008). *Production and Operations Management* (Second Edi). New Age International Publishers.
- Lambert, A. J. D., Jansen, M. H., & Splinter, M. A. M. (2000). Environmental information systems based on enterprise resource planning. *Integrated Manufacturing Systems*, *11*(2), 105–112. <https://doi.org/10.1108/09576060010313973>
- Laudon, K. C., & Laudon, J. P. (2018). Management information systems. In *Pearson Education Limited*. <https://doi.org/10.1080/00221546.1978.11780376>
- Lee, C., Leem, C. S., & Hwang, I. (2011). PDM and ERP integration methodology using digital manufacturing to support global manufacturing. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *53*(1–4), 399–409. <https://doi.org/10.1007/s00170-010-2833-x>
- Lima, R. M. (2013). GIP - Gestão Integrada da Produção, Texto de Apoio. *Departamento de Produção e Sistemas Universidade Do Minho*.
- Liu, D. T., & Xu, X. W. (2001). A review of web-based product data management systems. *Computers in Industry*, *44*(3), 251–262. [https://doi.org/10.1016/S0166-3615\(01\)00072-0](https://doi.org/10.1016/S0166-3615(01)00072-0)
- Liu, G. J., Shah, R., & Schroeder, R. G. (2012). The relationships among functional integration, mass customisation, and firm performance. *International Journal of Production Research*, *50*(3), 677–690. <https://doi.org/10.1080/00207543.2010.537390>
- Liu, W., Chua, T. J., Lam, J., Wang, F. Y., Cai, T. X., & Yin, X. F. (2002). APS, ERP and MES systems integration for Semiconductor Backend Assembly. *Seventh International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision (ICARCV'02)*.
- Loos, P. (2001). Gozintographs for By-Products and Cyclic Production: an Approach for Erp System Application. *AMCIS 2001 Proceedings*.
- Maimon, O., & Dayagi, A. (1995). Nesting planning based on production priorities and technological efficiency. *European Journal of Operational Research*, *80*(1), 121–129. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(93\)E0164-S](https://doi.org/10.1016/0377-2217(93)E0164-S)
- Martins, P. (n.d.). *Apontamentos de Sistemas de Informação para a Produção*. Departamento de Produção e Sistemas, Universidade do Minho.
- Martins, P. (2008). Product Data Management. IDEIA - Apoio à Investigação e Desenvolvimento Empresarial Aplicad. *Departamento de Produção e Sistemas, Universidade Do Minho, Guimarães*.
- Martins, P. J., & Sousa, R. M. (2013). An overview of the generic product data model GenPDM. *22nd International Conference on Production Research, ICPR*.

- Mendes, J., Fernandes, P., & Pereira, C. S. (2015). An information system for the cutting stock problem with optimization of retail materials in stock. *2015 10th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*. <https://doi.org/10.1109/CISTI.2015.7170475>
- Mesihovic, S., & Malmqvist, J. (2000). Product data management (PDM) system support for the engineering configuration process. *ECAI 2000 Workshop on Configuration*. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.121.1963&rep=rep1&type=pdf>
- Mittal, S., Khan, M. A., Romero, D., & Wuest, T. (2019). Smart manufacturing: Characteristics, technologies and enabling factors. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, *233*(5), 1342–1361. <https://doi.org/10.1177/0954405417736547>
- Modrak, V., & Bednar, S. (2016). Entropy Based versus Combinatorial Product Configuration Complexity in Mass Customized Manufacturing. *Procedia CIRP*, *41*, 183–188. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.12.100>
- Moreira, D. A. (2012). *Administração da Produção e Operações* (2. ed. rev). São Paulo : Cengage Learning.
- Niemi, E. (2003). Part allocation to nesting layouts under variable demand. *International Journal of Production Research*, *41*(7), 1549–1563. <https://doi.org/10.1080/1352816031000075017>
- Nirvanatec. (n.d.). *Nesting Software: Plus 1D and Plus 2D*. <http://www.nirvanatec.com>
- Olsen, K. A., & Sætre, P. (1998). Describing products as executable programs: Variant specification in a customer-oriented environment. *International Journal of Production Economics*, *56–57*(97), 495–502. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(97\)00066-2](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(97)00066-2)
- Oltra-Badenes, R., Gil-Gomez, H., Guerola-Navarro, V., & Vicedo, P. (2019). Is it possible to manage the product recovery processes in an ERP? Analysis of functional needs. *Sustainability (Switzerland)*, *11*(4380). <https://doi.org/10.3390/su11164380>
- Ostroukh, A. V., Gusenitsa, D. O., Golubkova, V. B., & Yurchik, P. F. (2014). Integration of PDM and ERP systems within a unified information space of an enterprise. *IOSR Journal of Computer Engineering*, *16*(2), 31–33. <https://doi.org/10.9790/0661-16263133>
- Parthasarathy, S. (2007). *Enterprise Resource Planning (ERP) - A Managerial and Technical Perspective*. New Age International Publishers.
- Piller, F. T. (2004). Mass customization: Reflections on the state of the concept. *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, *16*(4 SPEC. ISS.), 313–334. <https://doi.org/10.1007/s10696-005-5170-x>
- Pine, B. J. (1993). Mass customizing products and services. *Planning Review*, *21*(4), 6–55. <https://doi.org/10.1108/eb054420>
- Radder, L., & Louw, L. (1999). Mass customization and mass production. *TQM Magazine*, *11*(1), 35–40. <https://doi.org/10.1108/09544789910246615>
- Rao, Y., Huang, G., Li, P., Shao, X., & Yu, D. (2007). An integrated manufacturing information system for mass sheet metal cutting. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *33*, 436–448. <https://doi.org/10.1007/s00170-006-0484-8>
- Rondeau, P. J., & Litteral, L. A. (2001). Evolution of manufacturing planning and control systems: From reorder point to enterprise resource planning. *Production and Inventory Management Journal*, *42*(2), 1–7.

- Rossit, D. A., Tohmé, F., & Frutos, M. (2019). Industry 4.0: Smart Scheduling. *International Journal of Production Research*, 57(12), 3802–3813. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1504248>
- Rusk, P. S. (1990). The role of the bill of material in manufacturing systems. *Engineering Costs and Production Economics*, 19(1–3), 205–211. [https://doi.org/10.1016/0167-188X\(90\)90044-I](https://doi.org/10.1016/0167-188X(90)90044-I)
- Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2016). *Research Methods for Business Students* (Seventh ed). Pearson Education Limited.
- Schaeffer, L., Martins, V., Folle, L., Marques, A. S., Böesch Jr, P. R., & Ambrosi, C. (2012). Programas CAD/CAE/CAM permitem reduzir perdas no corte de chapas. *Corte & Conformação de Metais*.
- Scheer, A.-W. (1994). Business Process Engineering. In *Laboratorium Penelitian dan Pengembangan FARMAKA TROPIS Fakultas Farmasi Universitas Muallawarman, Samarinda, Kalimantan Timur* (Second Ed). Springer-Verlag.
- Siddiqui, Q. A., Burns, N. D., & Backhouse, C. J. (2004). Implementing product data management the first time. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 17(6), 520–533. <https://doi.org/10.1080/09511920410001674596>
- Silva, L. I., Moura, H. da S., & Mercês, G. L. (2003). A Produção Conjunta: Aspectos Relevantes E Conceituais. *X Congresso Brasileiro de Custos*.
- Silva, S. de C. (2008). PLANEAMENTO E CONTROLO DA PRODUÇÃO. *Departamento de Produção e Sistemas Universidade Do Minho*.
- Silva, S. E. A. (2008). *Otimização no processo de corte unidimensional de barras de aço*. Universidade de São Paulo.
- Thoben, K.-D. (2003). Customer driven manufacturing versus mass customization. *The Customer Centric Enterprise, May 2003*, 71–84. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-55460-5>
- Thong, J. Y. L. (1999). An integrated model of information systems adoption in small businesses. *Journal of Management Information Systems*, 15(4), 187–214. <https://doi.org/10.1080/07421222.1999.11518227>
- Trappey, A. J. C., Peng, T. K., & Lin, H. D. (1996). An object-oriented bill of materials system for dynamic product management. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 7(5), 365–371. <https://doi.org/10.1007/BF00123912>
- Tseng, M., & Jiao, J. (1996). Design for Mass Customization. *Annals of the CIRP*, 45(1). <https://doi.org/10.1215/9780822390978-008>
- Tseng, M., Wang, Y., & Jiao, R. (2017). Mass Customization. *The International Academy for Production, Laperrière L., Reinhart G. (Eds) CIRP Encyclopedia of Production Engineering*. Springer, Berlin, Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-35950-7>
- Turi, L. M., & Hino, C. M. (n.d.). *Otimização de custos de planos de corte em bobinas de aço*.
- Usuga Cadavid, J. P., Lamouri, S., Grabot, B., Pellerin, R., & Fortin, A. (2020). Machine learning applied in production planning and control: a state-of-the-art in the era of industry 4.0. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 31(6), 1531–1558. <https://doi.org/10.1007/s10845-019-01531-7>
- Van Veen, E. A., & Wortmann, J. C. (1992). Generative bill of material processing systems. *Production Planning and Control*, 3(3), 314–326. <https://doi.org/10.1080/09537289208919403>
- Vegetti, M., Henning, G., & Leone, H. (2002). An object-oriented model for complex bill of materials in process industries. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 19(04), 491–497.

- Wang, C., Wang, S., & Zhang, F. (2010). Research on integration of PDM and ERP system. *Applied Mechanics and Materials*, *33*, 337–341. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.33.337>
- Wind, J., & Rangaswamy, A. (2001). Customerization: The next revolution in mass customization. *Journal of Interactive Marketing*, *15*(1), 13–32. [https://doi.org/10.1002/1520-6653\(200124\)15:1<13::aid-dir1001>3.0.co;2-%23](https://doi.org/10.1002/1520-6653(200124)15:1<13::aid-dir1001>3.0.co;2-%23)
- Xu, X. (2017). Machine Tool 4.0 for the new era of manufacturing. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *92*(5–8), 1893–1900. <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0300-7>
- Zangiacomi, A., Pessot, E., Fornasiero, R., Bertetti, M., & Sacco, M. (2020). Moving towards digitalization: a multiple case study in manufacturing. *Production Planning and Control*, *31*(2–3), 143–157. <https://doi.org/doi.org/10.1080/09537287.2019.1631468>
- Zhong, R. Y., Xu, X., Klotz, E., & Newman, S. T. (2017). Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review. *Engineering*, *3*(5), 616–630. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.05.015>

APÊNDICE 1 – CASO DE ESTUDO 1

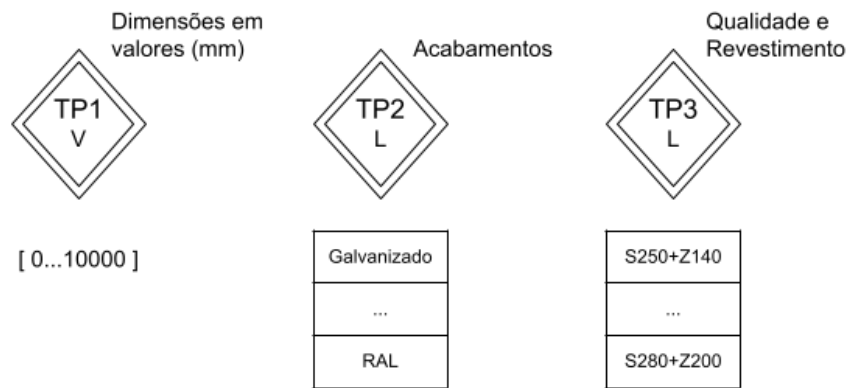


Figura 64 – Representação gráfica dos tipos de parâmetros para o case de estudo 1

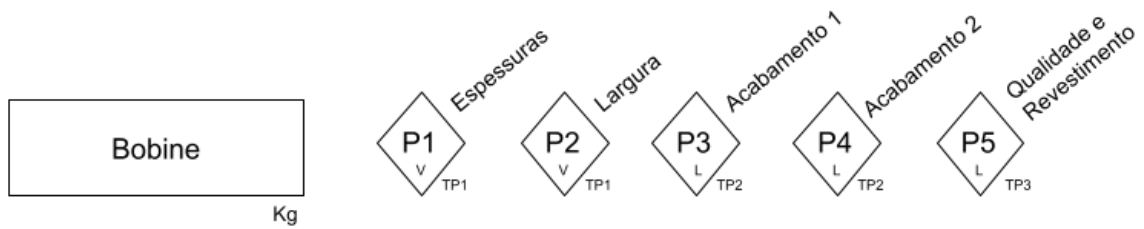


Figura 65 – Representação gráfica da referência genérica “Bobine”

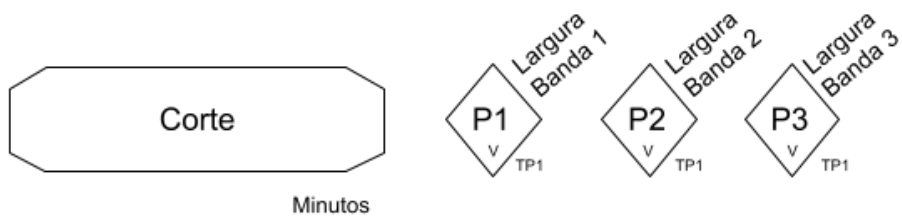


Figura 66 – Representação gráfica do tipo de operação “Corte”

APÊNDICE 2 – CASO DE ESTUDO 2

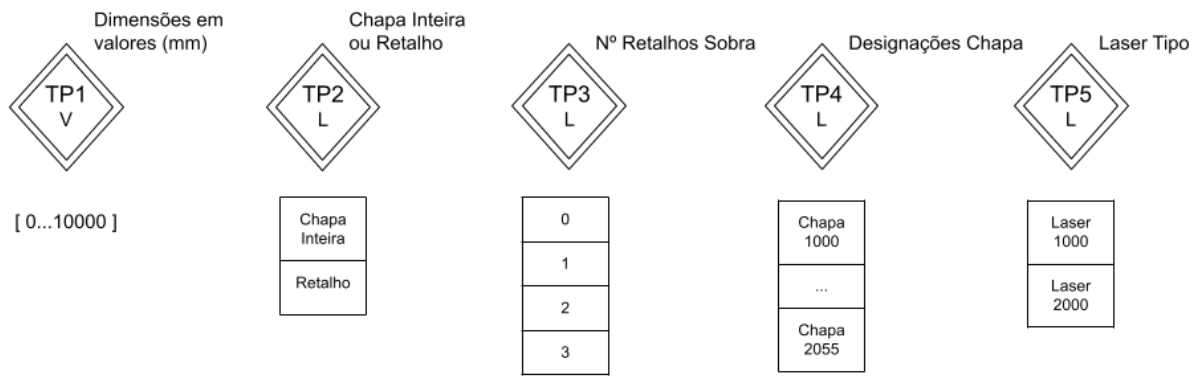


Figura 67 – Representação gráfica dos tipos de parâmetros para o case de estudo 1

ANEXO 1 – EXEMPLO DE UM PLANO DE CORTE

Duracao total: 00: 31: 11 **Residuo:** 80%
PierceLine: 00: 29: 34
Número de peças: 180 **Número de chapas:** 1

Ficheiro: [LSAL028761_8.LST](#) Sim Nao
 Programador: Cateye: Sim Nao

Tecnologia laser

Tabela	Fenda de corte	Distância focal da lente	Diâmetro do bocal	max. potência laser	Medida de ajuste	Gás
AL080MD0-N2S0-30-2	0.19	7.90	EAK40	6000	-1.00	Nitrogênio

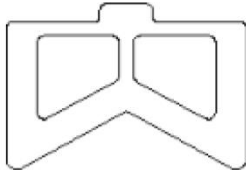
Programas NC:

Programa principal	Rep.	Material da chapa	Peso	Residuo	Duracao total	PierceLine
LSAL028761_8_1		AlMg3-80 1181 x 1153 x 8.00	29.41 kg	80%	00: 31: 11	00: 29: 34

Pecas: (Encomenda nesting : LSAL028761_8)

#	Ficheiro pecas	Peca	Encomendas de producao	Min	Qtd.	Max
1	SHPKCR0002-1006-LASER.GEO	SHPKCR0002-1006-LASER	LSAL028761_8_1	170	180	170

Informação peça individual:

	Nº de peça:	1
	Peca:	SHPKCR0002-1006-LASER
	Nome do desenho:	
	Nº de encomenda:	
	Cliente:	
	Qtd.:	180
	Dimensão:	67.6 mm x 46.3 mm
	Área:	1533.05 mm2
	Peso:	0.033 kg
	Duracao:	00: 00: 10
Ficheiro pecas:	SHPKCR0002-1006-LASER.GEO	

Encomendas de producao:

Encomenda de produção:	LSAL028761_8_1
Programa principal:	LSAL028761_8_1
Rep.:	1
Residuo:	80%
Duracao:	00: 31: 11
Número de peças: total/diferente	180 / 1

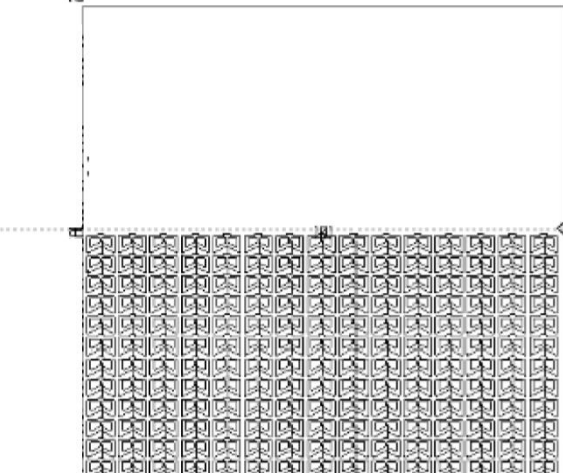


Figura 68 – Exemplo de um plano de corte