





Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Maria Catarina de Sousa Menezes Mesquita

**Desenvolvimento de ferramentas de
automatização de pesquisa de informação e
de simulação numa empresa de cortiça**

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial

Trabalho efetuado sob a orientação de

Professor Doutor António Amaro Costa Vieira

Professor Doutor Luís Miguel da Silva Dias

Janeiro de 2021

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

Quero deixar os meus agradecimentos à empresa que me acolheu para desenvolver o presente projeto de dissertação e em especial ao Engenheiro António Espinhosa, o meu orientador da empresa, por todo o conhecimento, ensinamentos, partilha e tempo despendido no projeto. A todas as pessoas do departamento de engenharia onde fui integrada, aos supervisores, aos colaboradores e aos colegas estagiários de outros projetos.

Deixo os meus agradecimentos também ao meu orientador Professor Doutor António Vieira e ao meu coorientador Professor Doutor Luís Dias pelos ensinamentos, disponibilidade e dedicação no desenvolvimento do projeto de dissertação.

Por último, mas não menos importante quero agradecer aos meus pais, à minha irmã, aos meus amigos e ao meu namorado Pedro Santos por toda a força que me deram e que me dão e por acreditarem sempre em mim.

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.

DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTAS DE AUTOMATIZAÇÃO DE PESQUISA DE INFORMAÇÃO E DE SIMULAÇÃO NUMA EMPRESA DE CORTIÇA

RESUMO

As empresas procuram desenvolver ferramentas para aumentar a produtividade, reduzir custos, reduzir tempos, minimizar riscos, aumentar a qualidade dos seus produtos e aumentar a flexibilidade da produção. Para este projeto foram desenvolvidas ferramentas de suporte à tomada de decisão.

Este trabalho de dissertação foi elaborado no contexto de uma empresa de cortiça, dedicada à aglomeração de cortiça e outros materiais, como borracha, espumas e plásticos reciclados e à transformação desses mesmos aglomerados em produtos, como juntas, calçado, pavimentos, bens de consumo, revestimentos acústicos e superfícies desportivas.

Desenvolveram-se ferramentas de automatização da pesquisa de informação, nomeadamente, uma ferramenta de pesquisa das referências que cumprem com os requisitos inseridos e uma ferramenta de pesquisa das dimensões disponíveis ou das etapas produtivas para um dado produto. Para a construção destas ferramentas foi necessário proceder-se à recolha das características de cada referência e dos fluxos existentes de transformação de blocos, cilindros e folhas curadas à espessura. Para a construção destas ferramentas foram utilizados o *Microsoft Excel*, o *Microsoft Access* e o *Visual Basic For Applications*. O tempo médio por pesquisa sem e com a utilização das ferramentas desenvolvidas foi calculado e constatou-se que houve uma redução de 92% do tempo médio efetuado por pesquisa. Desta forma, menos tempo dos recursos humanos é despendido na recolha, gestão e seleção da informação.

Além disso, foi elaborada uma simulação das linhas de rebobinagem e embalagem automática de rolos de aglomerado composto, com recurso ao *software* SIMIO. Primeiro, houve um levantamento e parametrização dos fatores críticos da linha, para que fosse elaborada a simulação e, de seguida, estudou-se o balanceamento do sistema face a diferentes cenários. Em função das características do rolo e da embalagem, o sistema pode estar balanceado ou não. Foram estudados cenários alternativos para quando o sistema não está balanceado, de forma a evitar essa ocorrência.

PALAVRAS-CHAVE:

Cortiça, Ferramentas de Suporte à Tomada de Decisão, Pesquisa de Informação, Simulação

DEVELOPMENT OF INFORMATION RESEARCH AUTOMATION AND SIMULATION TOOLS IN A CORK COMPANY

ABSTRACT

Companies seek to develop tools to increase productivity, reduce costs, reduce times, minimize risks, increase the quality of their products and increase production flexibility. For this project, decision-making support tools were developed.

This dissertation was developed in the context of a cork industry, dedicated to the agglomeration of cork and other materials, such as rubber, foams and recycled plastics and the transformation of these same agglomerates into products, such as joints, footwear, floors, consumer goods, acoustic coatings and sports surfaces.

Tools for the automation of information research have been developed, namely, a reference search tool that meets the entered requirements and a tool for the research of available dimensions or production steps for a given product. For the construction of these tools, it was necessary to collect the characteristics of each reference and the existing transformation flows of blocks, cylinders and sheets cured with the required thickness. Microsoft Excel, Microsoft Access and Visual Basic for Applications were used to build these tools. The average time per search without and with the use of the developed tools was calculated and it can be seen that there was an average reduction of 92% in the time spent/consumed while searching for the intended information. This has led to less time being spent by human resources on tasks, such as searching and managing information.

In addition, a simulation of the automatic rewinding and packaging lines for composite agglomerated cylinders was created using the SIMIO software. First, there was a survey and parameterization of the critical factors of the line, so that the simulation could be elaborated and then the balancing of the system was studied in the face of different scenarios. Depending on the type of roll to be produced and according to the type of packaging, the balancing of the system varies. Other scenarios were studied for when the system is not balanced, in order to avoid this occurrence.

KEYWORDS

Cork, Decision Making Support Tools, Information Search, Simulation

ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vi
Índice.....	vii
Índice de Figuras.....	xi
Índice de Tabelas.....	xiii
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos.....	xv
1 Introdução.....	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Metodologia de investigação.....	3
1.3 Estrutura da dissertação.....	4
2 Revisão bibliográfica.....	6
2.1 Automatização de tarefas e pesquisa de informação.....	6
2.1.1 Automatização.....	6
2.1.2 Microsoft Excel.....	7
2.1.3 Visual Basic for Applications.....	8
2.1.4 UserForms no Visual Basic for Applications.....	9
2.1.5 Bases de dados.....	10
2.1.6 Modelo Relacional de base de dados.....	11
2.1.7 Microsoft Access.....	12
2.1.8 Aplicação de princípios <i>Lean</i> no desenvolvimento de <i>software</i>	13
2.2 Simulação.....	18
2.2.1 Definição de simulação.....	18
2.2.2 Classificação dos modelos de simulação.....	19
2.2.3 Etapas para a modelação de uma simulação.....	20
2.2.4 Vantagens e desvantagens da simulação.....	21
2.2.5 Ferramentas de simulação.....	22

2.2.6	SIMIO.....	23
3	Apresentação da empresa e descrição e análise crítica da situação inicial.....	25
3.1	Apresentação da empresa	25
3.1.1	Organização	25
3.1.2	Processo produtivo geral.....	26
3.2	Descrição e análise crítica da situação inicial	27
3.2.1	Departamento de engenharia do produto	28
3.2.2	Linhas de rebobinagem e embalagem automática de rolos de aglomerado composto .	28
3.2.3	Identificação de problemas no departamento de engenharia do produto	30
3.2.4	Identificação de problemas nas linhas de rebobinagem e embalagem automática de rolos de aglomerado composto	30
3.2.5	Definição dos objetivos	31
4	Recolha de informação para a construção das ferramentas de automatização de pesquisa de informação	33
4.1	Moldes disponíveis para a aglomeração	33
4.1.1	Moldes disponíveis para a aglomeração de cilindros.....	33
4.1.2	Moldes disponíveis para a aglomeração de blocos.....	35
4.1.3	Moldes disponíveis para a aglomeração de folhas curadas à espessura	36
4.2	Levantamento dos parâmetros característicos de cada referência	37
4.3	Levantamento das limitações técnicas dos equipamentos	37
4.3.1	Equipamentos utilizados para a transformação de cilindros em rolos.....	38
4.3.2	Equipamentos utilizados para a transformação de blocos em placas	40
4.3.3	Equipamentos utilizados para a transformação de rolos em placas.....	43
4.3.4	Equipamentos utilizados para a transformação de folhas curadas à espessura	44
4.4	Fluxos produtivos de transformação de blocos em placas.....	44
4.4.1	Placas de aglomerado composto.....	44
4.4.2	Placas de aglomerado de borracha e de desperdícios de borracha	47
4.5	Fluxo produtivo de transformação de cilindros em rolos	49

4.5.1	Caracterização de rolos perfilados.....	49
4.5.2	Caracterização de mini rolos.....	50
4.5.3	Rolos de aglomerado composto	50
4.5.4	Rolos de aglomerado de borracha e de desperdícios de borracha	52
4.6	Fluxo produtivo de transformação de rolos em placas	53
4.7	Fluxo produtivo de transformação de folhas curadas à espessura	53
5	Ferramentas de automatização da pesquisa de informação	55
5.1	Ferramenta de pesquisa das referências que cumprem com os requisitos	55
5.2	Ferramenta de pesquisa das dimensões disponíveis ou das etapas produtivas	57
5.2.1	Menu principal	57
5.2.2	Adicionar referência.....	58
5.2.3	Moldes disponíveis para aglomeração de blocos.....	59
5.2.4	Rolos perfilados	61
5.2.5	Placas	65
5.2.6	Folha curada à espessura.....	69
5.3	Impacto das ferramentas de automatização da pesquisa de informação.....	70
6	Simulação das linhas de rebobinagem e embalagem automática de rolos.....	71
6.1	Representação da área em estudo.....	71
6.2	Levantamento e parametrização dos fatores críticos das linhas	72
6.2.1	Tabela de interface	72
6.2.2	Número de rolos por cilindro.....	72
6.2.3	Tempo de ciclo do rebobinador.....	73
6.2.4	Tempo de ciclo da embalagem	74
6.2.5	Velocidade dos tapetes rolantes	74
6.3	Experiências de simulação	75
6.3.1	Exemplo 1: sistema balanceado.....	76
6.3.2	Exemplo 2: sistema desequilibrado	77
6.3.3	Exemplo 3: Parar uma das linhas.....	78
6.3.4	Exemplo 4: duplicar os recursos da zona de embalagem.....	79

6.3.5	Exemplo 5: colocar um buffer entre a zona de embalagem e de rebobinagem	80
6.4	Discussão dos resultados obtidos	81
7	Conclusão e trabalhos futuros	83
	Referências Bibliográficas	85
	Apêndice 1 – Manual de utilização das ferramentas de automatização de pesquisa de informação e de simulação.....	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Princípios da Filosofia Lean Thinking.....	14
Figura 2: Classes de Objetos no SIMIO	23
Figura 3: Organigrama da Organização	26
Figura 4: Fluxo produtivo após a aglomeração.....	27
Figura 5: Representação das linhas de rebobinagem e embalagem automática de rolos (com recurso ao software SIMIO).....	29
Figura 6: Dimensões de um cilindro.....	34
Figura 7: Dimensões de um bloco.....	35
Figura 8: Dimensões de uma folha curada à espessura.....	36
Figura 9: Cálculo da espessura a ser lixada para uma placa de aglomerado composto	45
Figura 10: Equipamento que efetua o corte em espessura para uma placa de aglomerado composto	46
Figura 11: Equipamento que efetua os cortes laterais numa placa de aglomerado composto	47
Figura 12: Cálculo da espessura a ser lixada para uma placa de aglomerado de borracha ou de desperdícios de borracha.....	47
Figura 13: Definição do equipamento que efetua o corte em espessura para uma placa de aglomerado de borracha ou de desperdícios de borracha.....	48
Figura 14: Representação das dimensões de um rolo	49
Figura 15: Perfil de um rolo perfilado	49
Figura 16: Definição das etapas produtivas para a obtenção de um rolo de aglomerado composto.....	51
Figura 17: Etapas para a obtenção de um rolo resultante de aglomerado de borracha ou de desperdícios de borracha.....	52
Figura 18: Equipamento de corte da FCE.....	53
Figura 19: Menu de Interface.....	55
Figura 20: Menu principal da ferramenta	58
Figura 21: Registo das Características de uma Nova Referência	59
Figura 22: Menu blocos	60
Figura 23: Menu cilindros.....	60
Figura 24: Menu Cilindros Alturas.....	61
Figura 25: Identificação do tipo de rolo	62

Figura 26: Menu Rolos Perfilados.....	62
Figura 27 : Propriedades e Etapas Produtivas de um Rolo Perfilado.....	63
Figura 28: Menu dos rolos não perfilados.....	64
Figura 29: Propriedades e Etapas Produtivas de um Rolo Não Perfilado	65
Figura 30: Menu das placas perfiladas.....	66
Figura 31: Propriedades e Etapas Produtivas de uma Placa Perfilada	67
Figura 32: Menu das placas não perfiladas	67
Figura 33: Propriedades e Etapas Produtivas de uma Placa	68
Figura 34: Menu das FCEs	69
Figura 35: Propriedades e Etapas Produtivas de uma FCE	70
Figura 36: Representação do sistema através de objetos e entidades	71
Figura 37: Tabela de interface	72
Figura 38: Tapete rolante de transporte de rolos	75
Figura 39: Table1 preenchida para o primeiro exemplo	76
Figura 40: Simulação do exemplo 1	76
Figura 41: Table 1 preenchida para o segundo exemplo.....	77
Figura 42: Simulação do exemplo 2.....	77
Figura 43: Simulação do exemplo 3.....	78
Figura 44: Simulação do exemplo 4.....	79
Figura 45: Simulação do exemplo 5.....	80

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Moldes disponíveis para a aglomeração de cilindros.....	34
Tabela 2: Moldes de blocos para a aglomeração composta e de desperdícios de borracha	35
Tabela 3: Moldes de blocos para a aglomeração de borracha.....	36
Tabela 4: Moldes de FCE.....	36
Tabela 5: Laminadoras dos cilindros de aglomerado composto e limites dimensionais dos rolos para cada laminadora	38
Tabela 6: Laminadoras dos cilindros de aglomerado de borracha ou de desperdícios de borracha e limites dimensionais dos rolos	39
Tabela 7: Limites dimensionais dos rolos na divisora.....	39
Tabela 8: Limites dimensionais dos rolos nas MEI.....	40
Tabela 9: Laminadoras dos blocos de aglomerado composto e limites dimensionais das placas	41
Tabela 10: Limites dimensionais das placas na serra 16	41
Tabela 11: Laminadoras dos blocos de aglomerado de borracha ou de desperdícios de borracha e limites dimensionais das placas.....	41
Tabela 12: Limites dimensionais das placas na serra 05	41
Tabela 13: Limites dimensionais das placas na retificadora.....	42
Tabela 14: Limites dimensionais das placas na serra 19.....	42
Tabela 15: Limites dimensionais das placas nas lixadoras 05, 08 e 16	42
Tabela 16: Limites dimensionais das placas na lixadora 01	43
Tabela 17: Limitações dimensionais das placas nas mesas de corte	43
Tabela 18: Limitações dimensionais das placas nas shetters.....	43
Tabela 19: Limitações dimensionais das placas nas MEI.....	44
Tabela 20: Consultas.....	56
Tabela 21: Distância da primeira e terceira fase para cada intervalo de espessuras	73
Tabela 22: Tempo de Ciclo de embalagem em plástico de um rolo	74
Tabela 23: Velocidade dos tapetes rolantes.....	75
Tabela 24: Taxas de ocupação dos trabalhadores e produção por turno para o exemplo 1	77
Tabela 25: Taxas de ocupação dos trabalhadores e produção por turno para o exemplo 3	78

Tabela 26: Taxas de ocupação dos trabalhadores e produção por turno para o exemplo 4.....	79
Tabela 27: Taxas de ocupação dos trabalhadores e produção por turno para o exemplo 3.....	80

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

BD – Base de Dados

FCE – Folha curada à espessura

FCEs – Folhas curadas à espessura

SGBD – Sistema de Gestão da Base de Dados

TPS - Toyota Production System

VBA - Visual Basic for Applications

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

No universo industrial atual, caracterizado por uma globalização crescente, a competitividade entre empresas e a concorrência pela preferência dos consumidores são realidades cada vez mais presentes. Por estes motivos, as empresas procuram desenvolver ferramentas para aumentar a produtividade, reduzir os custos, reduzir tempos, minimizar riscos, aumentar a qualidade dos seus produtos e aumentar a flexibilidade da produção. A automatização de processos industriais, de tarefas e de pesquisa de informação de apoio à decisão para a produção surgem como recursos cada vez mais utilizados para alcançar estes objetivos.

O *Microsoft Excel* é uma ferramenta de tomada de decisão amplamente popular devido à sua versatilidade. É útil para analisar dados, criar gráficos, automatizar tarefas com macros, entre outras funções (Aggarwal, 2004). Por sua vez, o *Microsoft Access* permite o desenvolvimento de sistemas de gestão de base de dados, é de fácil utilização, acesso e distribuição. Muitas vezes, o *Access* é a primeira escolha de *software* de base de dados relacionais, uma vez que a partir dele é possível a criação rápida de soluções úteis de base de dados. Pode não ter todos os recursos de desempenho de outro *software* utilizado pela comunidade de programadores, como, por exemplo, o SQL Server, mas para muitas situações, tem os recursos mais frequentemente utilizados ou necessários. São muitos os desafios que podem ser resolvidos pelo *Access*, sem requerer o investimento em *software* caro e complexo (Chung, 2004).

O *Microsoft Excel* é um *software* que faz parte de um conjunto de ferramentas do *Office* e é constituído por uma poderosa folha de cálculo que dispõe de inúmeras ferramentas para tratamento, análise, partilha e proteção de dados (Pinto, 2010). Segundo Carvalho (2017), o VBA permite automatizar, personalizar e estender as funcionalidades do *Microsoft Excel*, através da programação. Desta forma, permite o desenvolvimento de aplicações, como funções e procedimentos que respondem às necessidades da análise de dados. Por sua vez, o *Microsoft Access* é um Sistema de Gestão de Base de Dados relacional em ambiente gráfico *Windows*, que possibilita ao utilizador o armazenamento, organização e gestão dos dados de uma forma simples e direta (Carvalho, Azevedo, & Abreu, 2010).

A conceção de um artefacto informático deve dar resposta a problemas e questões do negócio com propósitos bem definidos. Contudo, o risco de desenvolver artefactos musculados sem valor

acrescentado é elevado, sendo por isso importante existir um considerável background na área de gestão industrial, o que representa uma vantagem importante na construção destes artefactos. Por exemplo, a aplicação de princípios e ferramentas *Lean* permite agilizar a criação e desenvolvimento de *software*. Poppendieck & Poppendieck (2003) identificam princípios *Lean* presentes nos cenários industriais, que adaptam ao desenvolvimento de *software* e mostram como podem servir de base para abordar um desenvolvimento ágil.

Surgiu a necessidade, na empresa de cortiça onde foi elaborada a dissertação, do desenvolvimento de ferramentas que facilitassem e automatizassem a pesquisa de informação e a execução de certas tarefas. Tendo em consideração o que foi exposto, definiram-se como objetivos da dissertação o desenvolvimento de ferramentas de automatização da pesquisa de informação, através do *Microsoft Excel*, do *Microsoft Access* e do VBA (*Visual Basic For Applications*).

Para tal foi necessário proceder-se ao levantamento e organização de uma série de dados. Recolheu-se e organizou-se numa base de dados as características de cada referência, estudou-se os equipamentos de transformação e os fluxos produtivos. Esta informação foi organizada em tabelas e fluxogramas. Posteriormente procedeu-se à automatização da apresentação dos moldes disponíveis ou das etapas produtivas para a obtenção de um produto, com recurso ao *Microsoft Excel* e ao VBA, e à automatização da seleção das referências que cumprem com os requisitos inseridos pelo utilizador, através do *Microsoft Access* e do VBA. Além disso, automatizou-se a tarefa de atualizar a base de dados, para a remoção de referências obsoletas e a adição de novas referências.

Aliado ao objetivo principal de pesquisa de informação, surgiu um outro objetivo, simular linhas de rebobinagem e embalagem automática de rolos de aglomerado composto, para o estudo do balanceamento do sistema, conforme as características do rolo e da embalagem. Desta forma, pretende-se que seja possível aliar os eventuais ganhos da pesquisa de informação, aos benefícios associados à utilização da simulação, como a capacidade de visualizar os fluxos presentes no sistema real e a capacidade de testar diferentes cenários utilizando os dados da empresa.

Para a construção da ferramenta de simulação das linhas de rebobinagem e embalagem automática de rolos de aglomerado composto, numa primeira etapa, estudou-se o sistema e efetuou-se o levantamento e parametrização dos fatores críticos das linhas. A partir dessa informação construiu-se a simulação do sistema, com recurso ao *software* SIMIO. Através da simulação do sistema foi possível proceder-se à

análise e estudo do balanceamento de vários cenários, conforme as características dos rolos e da embalagem. Para os sistemas não balanceados foram estudadas alternativas para evitar essa ocorrência.

Para Banks (1998), a simulação envolve a geração de uma história artificial do sistema e a sua observação para extrair dados ou conclusões (inferências) sobre as características operacionais do sistema real que é representado.

A seleção de um caminho com base numa decisão científica é um problema complexo, uma vez que um processo produtivo constitui um sistema/organismo vivo que capitaliza num conjunto de recursos com características próprias, máquinas, colaboradores humanos, fatores aleatórios, disponibilidade de matérias secundárias, energia, localização de cada um destes conceitos, movimentação das matérias primas, armazenamentos, filas de espera, etc. A simulação apresenta-se como uma metodologia muito conveniente para avaliar uma possível solução e as interações entre esses elementos ao longo do tempo, sob condições estocásticas.

1.2 Metodologia de investigação

Dado que na dissertação em causa estão definidos claramente os problemas a serem colmatados e são requeridos artefactos específicos para colmatar essas necessidades, ferramentas informáticas, a estratégia que permite uma melhor abordagem é a metodologia *Design Science Research*. O principal objetivo desta metodologia é desenvolver conhecimentos sólidos para apoiar a resolução de problemas organizacionais (Saunders, Lewis, & Thornhill, 1917).

A metodologia *Design Science Research* encontra-se dividida em seis fases: (i) Identificação e motivação do problema, (ii) Definição dos objetivos para a solução, (iii) Projeção e desenvolvimento, (iv) Demonstração, (v) Avaliação, (vi) Comunicação (Ken Peffers, Tuure Tuunanen, Marcus A. Rothenberger, & Samir Chatterjee, 2007).

Na primeira fase, de Identificação e Motivação do Problema, descreveu-se a situação inicial e a identificação dos problemas. Um recurso importante e requerido para esta atividade incluiu uma pesquisa bibliográfica acerca das metodologias, princípios e ferramentas a usar neste projeto. Esta pesquisa foi efetuada através de diversas fontes literárias, nomeadamente teses, artigos científicos e livros.

Na segunda etapa, de Definição dos Objetivos para a Solução, definiram-se os objetivos para o alcance da solução do problema. Os objetivos devem ser inferidos racionalmente a partir da especificação do problema.

A próxima etapa diz respeito à Conceção e Desenvolvimento. Nesta fase foram projetadas as funcionalidades desejadas e a arquitetura para a criação do artefacto, desenvolvido com o contributo da investigação. E foram desenvolvidas as ferramentas de ajuda à tomada de decisão, nomeadamente as ferramentas de automatização da pesquisa de informação e a ferramenta de simulação das linhas de rebobinagem e embalagem automática de rolos.

Sucedeu-se a fase da Demonstração. Nesta etapa, demonstrou-se o funcionamento das ferramentas aos futuros utilizadores das ferramentas e eles próprios fizeram experimentações.

A próxima fase é a de Avaliação. Nesta fase, os futuros utilizadores das ferramentas avaliaram a eficiência do artefacto para a resolução dos problemas em causa. Foram recolhidas algumas sugestões de melhoria, as quais foram trabalhadas.

Por fim, procedeu-se à Comunicação oficial das ferramentas desenvolvidas, salientando a sua utilidade, o rigor da sua conceção e a sua eficiência. As ferramentas foram colocadas numa pasta partilhada e foram distribuídos também manuais de utilização das mesmas.

1.3 Estrutura da dissertação

A presente dissertação encontra-se estruturada em sete capítulos. Inicia-se com o capítulo 1, em que há um enquadramento do tema e da metodologia de investigação utilizada ao longo do mesmo. De seguida, no capítulo 2 é feita uma revisão bibliográfica que contempla os conceitos teóricos fundamentais para a realização do projeto. Segue-se o terceiro capítulo, onde se dá a conhecer a empresa onde o projeto tomou lugar, apresenta-se a situação inicial, os problemas identificados e os objetivos definidos.

No capítulo 4, expõe-se toda a informação recolhida para o desenvolvimento das ferramentas de automatização da pesquisa de informação e, no capítulo 5, apresentam-se essas ferramentas, a ferramenta de pesquisa das referências que cumprem com os requisitos pretendidos e a ferramenta de pesquisa das dimensões disponíveis ou das etapas produtivas, e avalia-se o impacto das mesmas.

No capítulo 6, descreve-se a área em estudo, nomeadamente, as linhas de rebobinagem e embalagem automática de rolos de aglomerado composto e apresenta-se a parametrização dos fatores críticos das

linhas. Além disso, expõem-se vários exemplos da simulação em funcionamento e discutem-se os resultados obtidos. Por último, no capítulo 7, apresentam-se as conclusões e algumas propostas de trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo apresenta-se a revisão bibliográfica, que está dividida em dois subcapítulos: automatização de tarefas e pesquisa de informação e simulação. No subcapítulo referente à automatização de tarefas e pesquisa de informação define-se o conceito de automatização, apresentam-se as características e funcionalidades da ferramenta *Microsoft Excel* e da linguagem de programação VBA. Subsequentemente, definem-se conceito base, como bases de dados relacionais, e descreve-se a ferramenta *Microsoft Access*. Numa fase final do subcapítulo apresenta-se a filosofia *Lean Thinking* e a utilidade de aplicar princípios *Lean* ao desenvolvimento de *software*. Por seu turno, no subcapítulo referente à simulação, aborda-se a definição do conceito simulação, a terminologia utilizada para a mesma, a classificação de modelos, as etapas para a modelação, as ferramentas e as vantagens e desvantagens da simulação.

2.1 Automatização de tarefas e pesquisa de informação

2.1.1 Automatização

Para Eder & Hubka (1990) a automatização envolve a transferência progressiva de funções exercidas pelo ser humano para sistemas técnicos. Segundo Goldberg (2012) a automatização permite um aumento da eficiência, eficácia, produtividade, qualidade e fiabilidade de um sistema. Dellot & Wallace-Stephens (2017) afirmam que a automatização de uma tarefa liberta os indivíduos da execução de tarefas morosas, o que permite a realização de outras novas funções.

Durante a projeção da automatização de um sistema é essencial considerar o tipo de função exercido pelo sistema e o nível de automatização que se quer implementar, para haver um equilíbrio entre a fiabilidade e a eficiência do sistema. O principal objetivo da automatização é trazer benefícios na cadeia produtiva (Liu, 2018).

Além das potencialidades da automatização, tem de se ter também presente as suas limitações, a necessidade da sua evolução e adaptação ao processo, sendo este desempenho normalmente possível pela intervenção humana. Os autores Haigh & Caringi (2007) constatam que, por um lado, a automatização permite aumentar a eficiência, a fiabilidade e a precisão de um sistema, ao mesmo tempo que liberta os indivíduos da execução de tarefas repetitivas, ou que exigem um maior esforço físico. Por outro lado, os humanos fornecem inputs importantes para a conceção e manipulação de qualquer sistema, pois possuem a capacidade única de experimentar, avaliar, inovar, adaptar com flexibilidade

em função dos objetivos. Assim sendo, na concepção dos sistemas é valor acrescentado incluir as vantagens intrínsecas das características humanas. Por sua vez, a automação diminui as falhas e erros do ser humano nas funções repetitivas, como a inabilidade, a inconsistência, a falta de resistência, a falta de vigilância e todas as nossas limitações físicas e cognitivas.

Na cadeia produtiva, além da necessidade de automatizar processos industriais surge também a necessidade de automatizar o acesso e a seleção de informação nos próprios recursos informáticos. O *Microsoft Excel* em conjunto com o VBA, assim como os programas de base de dados relacionais, como o *Microsoft Access*, constituem ferramentas comumente utilizadas pelas empresas para o alcance de tais objetivos.

2.1.2 Microsoft Excel

O *Microsoft Excel* é um *software* que faz parte de um conjunto de ferramentas do Office e é constituído por uma poderosa folha de cálculo que dispõe de inúmeras ferramentas para tratamento, simulação, análise, partilha e proteção de dados (Pinto, 2010).

O *Microsoft Excel* permite a execução rápida de cálculos e recálculos de dados através de funções ou fórmulas existentes no programa (Held, 2006).

Pinto (2010) apresenta algumas funcionalidades que o *Excel* oferece para o tratamento de dados:

- O *Excel* apresenta funcionalidades de formatação de dados, folhas de cálculo, células e permite também a formatação condicional;
- O *Excel* possibilita a criação e edição de gráficos;
- As fórmulas de cálculo e as funções predefinidas ajudam a trabalhar e manipular os dados da folha de cálculo. Sempre que os dados são alterados na folha de cálculo, o *Excel* recalcula automaticamente os resultados em função das fórmulas definidas;
- Nas tabelas de dados é possível adicionar automaticamente filtros. Através dos filtros é possível ordenar dados e estabelecer critérios de consulta de dados;
- O *Excel* permite a colaboração e partilha de dados entre utilizadores. Inclui também funcionalidades relacionadas com a revisão das folhas de cálculo, como o registo de alterações e comentários.

- Caso haja a partilha do ficheiro com outros utilizadores, o *Excel* consegue assegurar a proteção de células, folhas de cálculo e livros.

A base do *Excel*, onde se desenvolve um trabalho, é constituída por células dispostas pelas linhas e colunas de uma folha. A construção de um projeto em *Excel* pode ser realizada a partir das ferramentas disponíveis localizadas no *Ribbon*. O *Ribbon* do *Microsoft Excel* tem vários separadores e cada um deles apresenta um conjunto de comandos que se adequam à realização de tarefas específicas (Nielsen, 2017).

2.1.3 Visual Basic for Applications

O VBA é uma linguagem de programação que pode ser incorporada em todos os programas do *Microsoft Office* (*Word*, *Excel*, *Power Point*, *Access*, etc). O recurso a linguagens de programação para desenvolver *software* dentro das organizações é cada vez mais utilizado.

Segundo Balaban (2017) uma linguagem de programação é um conjunto de comandos/operações que permite a conceção de um programa. Deste modo, as linguagens de programação são usadas para especificar soluções de problemas. Programar implica a criação de um processo de *software*. Isto inclui analisar e gerir o problema, desenhar o programa, desenvolver algoritmos e estruturas de dados, escrever, executar, testar, documentar, configurar, concluir e acompanhar os códigos do programa (Mahmudova, 2018).

A utilização de ferramentas informáticas permite eliminar a execução de tarefas repetitivas, o que se traduz num aumento do tempo produtivo e na redução potencial de erros humanos.

A programação em VBA no *Excel* permite colmatar a necessidade da execução de alguma tarefa que não possa ser realizada com as ferramentas padrão do *Excel*. A linguagem *VBA* pode ser utilizada para automatizar tarefas, para trabalhar com mais inteligência e para aumentar a produtividade (Alexander & Kusleika, 2019).

Segundo Carvalho (2017) o VBA permite automatizar, personalizar e estender as funcionalidades do Excel, através da programação. Desta forma, permite o desenvolvimento de aplicações, como funções e procedimentos que respondem às necessidades da análise de dados.

As instruções de código escritas em VBA formam o corpo de uma macro. “Uma macro é um pequeno programa que contém uma lista de instruções a realizar no *Excel*. Como sendo um repositório de

operações, uma macro pode executar um conjunto de tarefas através de um único procedimento o qual pode ser invocado rapidamente” (Domingues, 2012).

Existem duas possibilidades para a criação de macros: através do gravador de macros ou através da utilização do editor e programando em VBA (Domingues, 2012).

2.1.4 UserForms no Visual Basic for Applications

As caixas de diálogo são um elemento essencial para se estabelecer uma interface com o usuário e são utilizadas em muitos programas *Windows*. Para a criação de caixas de diálogo personalizadas é possível recorrer-se ao *UserForms*.

Os autores Alexander & Kusleika (2019) explicam as funcionalidades dos controlos da caixa de ferramentas do *UserForms*:

- **SelectObjets**: é utilizado para redimensionar ou mover um controlo já existente no formulário.
- **Label**: recorre-se a este controlo para a exibição de um texto que não pode ser alterado pelo utilizador.
- **TextBox**: recorre-se a este controlo para a exibição de uma caixa para o utilizador escrever.
- **ComboBox**: é utilizado para apresentar uma lista suspensa de itens, a partir da qual o utilizador pode selecionar apenas um item.
- **ListBox**: é utilizada para apresentar uma lista de itens, a partir da qual o utilizador pode selecionar um ou mais itens.
- **CheckBox**: este controlo apresenta uma caixa com a funcionalidade binária, e o utilizador pode indicar se algo é verdadeiro ou falso.
- **OptionButton**: permite a exibição de várias opções a partir das quais o usuário pode escolher apenas uma.
- **ToggleButton**: é um botão que alterna entre dois estados, pode ser ativo ou desativo pelo utilizador.
- **Frame**: permite o agrupamento gráfico ou funcional de um conjunto de controlos.
- **CommandButton**: este comando exhibe um botão que pode despoletar a execução de um comando, quando o utilizador clica no mesmo.

- **TabStrip:** normalmente este comando é utilizado se o layout do formulário for igual para várias páginas. Se o layout mudar em cada página, o comando a utilizar é o MultiPage.
- **MultiPage:** permite a exibição de vários separadores com um conjunto de ferramentas de controlo próprio.
- **ScrollBar:** é utilizado para aumentar ou diminuir o valor apresentado por outro controlo.
- **SpinBotton:** é parecido com o controlo ScrollBar, permite aumentar ou diminuir o valor apresentado por outro controlo, mas não tem a estrutura de arrastar.
- **Image:** é utilizado para apresentar uma imagem decorativa.
- **RefEdit:** permite ao utilizador seleccionar um intervalo de células na folha de *Excel*.

2.1.5 Bases de dados

Para a sobrevivência organizacional é essencial a tomada de decisões inteligentes. Para a sustentação desta tomada de decisões, o acesso a informação atualizada, fidedigna e relevante é fundamental. Para o alcance deste objetivo, as organizações devem recolher, trabalhar e analisar os dados que consideram relevantes (Sumathi & Esakkirajan, 2007).

O termo dados pode ser definido como o valor de um atributo de uma entidade. Um agrupamento de dados representa uma base de dados se esse conjunto for organizado de forma a permitir um uso eficaz e eficiente da informação (Gunjal, 2003).

Segundo Coelho (2011), uma base de dados tem os dados estruturados, o que facilita o uso e a longevidade da informação, para que seja útil para muitos utilizadores num período de tempo mais longo.

Kroenke, Auer, Vandenberg, & Yoder (2019) apresentam os componentes que constituem um sistema de base de dados. A Base de Dados (BD) é o local onde se armazenam os dados. O Sistema de Gestão de Base de Dados (SGBD) permite a manipulação e a consulta dos dados que constitui a base de dados, na totalidade ou parcialmente. Em determinado *software*, por exemplo no *Microsoft Access*, existe também a Aplicação de Base de Dados, que é um conjunto de um ou mais programas de computador que serve de intermediário entre o utilizador e o SGBD. Estas aplicações podem ser apresentadas no formato de formulários ou relatórios. Por fim, o Utilizador é o componente final de um sistema de base de dados, é responsável pela atualização e funcionamento do sistema e utiliza formulários para ler, inserir e consultar dados, assim como, relatórios para transmitir informação.

Segundo Coelho (2011) um SGBD disponibiliza linguagens de:

- definição de dados: para criação e alteração da estrutura da BD (DDL - *Data Definition Language*)
- consulta de dados: obter e processar os dados armazenados (DQL - *Data Query Language*)
- manipulação de dados: para acrescentar dados novos e modificar dados existentes (DML - *Data Manipulation Language*).

2.1.6 Modelo Relacional de base de dados

Existem vários modelos que definem como a informação é organizada internamente numa base de dados. O modelo relacional é dos mais utilizados atualmente. Edgar Frank Codd foi o matemático que teorizou o modelo relacional durante o seu trabalho de pesquisa na IBM. Codd (1990) na sua obra estabelece algumas regras e definições que caracterizam o modelo relacional.

Toda a informação na base de dados relacional é armazenada em tabelas. As tabelas possuem os atributos que correspondem às colunas e os tuplos que correspondem às linhas. Relativamente aos atributos é necessário definir o tipo de dados a ser guardado. Um determinado atributo pode permitir valores nulos, ou seja, pode haver ou não obrigatoriedade de preenchimento do campo.

Além disso, para qualquer dado de uma base de dados relacional, o acesso lógico a esse valor obtém-se através da combinação do nome da tabela, da chave primária e do nome do atributo.

Os relacionamentos dizem respeito às associações entre as tabelas. Os relacionamentos podem ser de um para um, de um para muitos, de muitos para muitos e de muitos para um. No relacionamento um para muitos cada valor da chave de uma entidade corresponde a vários valores da chave da outra. Por exemplo, o relacionamento pai-filhos, um pai pode ter vários filhos.

No relacionamento um para um cada valor da chave de uma entidade corresponde a um e um só valor da chave da outra entidade. Por exemplo, o relacionamento presidente-país, para um país existe apenas um presidente.

No relacionamento muitos para muitos a cada valor da chave de uma entidade corresponde a vários valores da chave da outra entidade e vice-versa. Por exemplo, o relacionamento funcionários-projetos, muitos funcionários trabalham em vários projetos.

Relacionamento muitos para um: o relacionamento colaboradores-departamento é um exemplo de um relacionamento muitos para um, vários colaboradores trabalham num departamento.

O SQL (*Structured Query Language*) é a linguagem padrão para sistemas de base de dados relacionais e é usado para manipular, analisar e apresentar dados. Alguns sistemas comuns de gestão de base de dados relacional que usam SQL são: *Oracle, Sybase, Microsoft SQL Server, Access, Ingres* etc (Almeida, 2017).

2.1.7 Microsoft Access

O *Microsoft Access* é um SGBD relacional em ambiente gráfico *Windows*, que possibilita ao utilizador o armazenamento, organização e gestão dos dados de uma forma simples e direta (Carvalho, Azevedo, & Abreu, 2010).

Uma grande vantagem do *Access* é a acessibilidade. Além disso, permite a criação de formulários e relatórios sem o recurso à programação, apesar de ser possível a utilização da linguagem SQL (Kroenke et al., 2019).

Caldeira (2003) apresenta os objetos que constituem o *Access*:

- **Tabelas:** objetos onde os dados são armazenados. As tabelas correspondem aos tipos de entidades e as colunas correspondem aos atributos.
- **Consultas:** dependem diretamente das tabelas e colunas criadas, ou seja, da estrutura da base de dados e tratam e apresentam a informação pedida.
- **Formulários:** estes objetos podem ser usados simplesmente como forma de dar um aspeto mais agradável e organizado às tabelas e consultas, mas também como forma de ligação entre todos os objetos da base de dados, permitindo que o utilizador tenha a sensação de estar a trabalhar com uma aplicação e não com um conjunto de objetos. As funcionalidades de um formulário permitem a edição de informação contida nas tabelas, a apresentação da informação derivada de expressões, a gestão da interação com os utilizadores e a apresentação de informação suplementar.
- **Relatórios:** objetos para formatar dados de forma a poderem ser imprimidos.
- **Macros:** objetos para automatizar ações.
- **Módulos:** programas que contém uma ou várias macros.

2.1.8 Aplicação de princípios *Lean* no desenvolvimento de *software*

As origens do *Lean* estão associadas à empresa japonesa Toyota. Nos finais da segunda Guerra Mundial, Taiichi Ohno e Eji Toyoda criaram o *Toyota Production System* (TPS), cuja nova forma de produzir trouxe grandes aumentos de produtividade através do aumento da qualidade e da redução de desperdícios (Ohno, 1988).

Mais tarde, através do livro “The Machine that Changed the World” nasceu o conceito *Lean Production*, cujo principal objetivo consiste no desenvolvimento de processos e métodos que reduzam continuamente os desperdícios (Womack, Jones, & Roos., 1990) .

Desperdício é qualquer atividade humana que consome recursos, mas não agrega valor. O desperdício, por vezes, constitui uma parte necessária para a realização de um processo que adiciona valor à empresa, pelo que não pode ser totalmente eliminado. Pode-se classificar as atividades realizadas numa empresa em atividades que acrescentam valor na perspetiva do cliente; atividades que não acrescentam valor, mas são necessárias ao processo e Atividades que não acrescentam valor e são desnecessárias, podendo e devendo ser eliminadas (Womack & Jones, 2003).

Para facilitar a deteção e eliminação de desperdícios Ohno (1988) e Shingo (1989) identificaram sete tipos de desperdícios industriais. O desperdício da sobreprodução que consiste na produção de quantidades superiores às necessárias de um produto e a respetiva quantidade de produto que não é consumida pelo mercado acaba por ficar retida em inventários. O desperdício das esperas representa os períodos de inatividade de pessoas, de informação ou de materiais. O desperdício dos transportes é referente às movimentações de materiais, peças ou produto acabado. O desperdício da movimentação está associado às deslocações executadas pelos colaboradores. O desperdício do sobreprocessamento associa-se à execução incorreta de processos que leva à realização de operações para refazer ou reparar o produto e a produção de artigos com qualidade acima da pretendida. O desperdício do inventário inclui o excesso de matéria-prima, *Work-In-Progress* (WIP) e produto acabado, que contribui para o aumento do *lead time*, do espaço ocupado e do estrago de materiais. Por último, o desperdício dos defeitos associa-se às operações de correção e reparo que consomem tempo dos colaboradores e recursos, como materiais e equipamentos. Além disso, as inspeções de qualidade, os custos de atrasos na entrega do produto e a perda de confiança por parte do cliente também são englobados por este desperdício.

O poder do *Lean Production*, reconhecido por várias empresas, levou à sua adaptação a novos setores, surgindo deste modo a filosofia *Lean Thinking*. Esta filosofia sustenta o pensamento de “fazer mais com

menos”, menos esforço humano, menos tempo e menos investimento em ferramentas. (Womack & Jones, 2003).

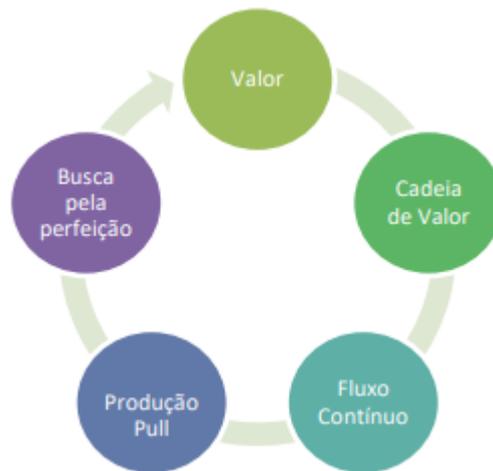


Figura 1: Princípios da Filosofia Lean Thinking

A base do *Lean Thinking* é constituída por cinco etapas principais, como se pode visualizar na Figura 1. Os autores (Smith A, 2015) e (Womack & Jones, 2003) definem estas cinco etapas:

- **Valor:** a especificação do valor em termos de produto ou serviço, que vá de encontro com as necessidades do cliente;
- **Cadeia de Valor:** a análise da cadeia de valor através da identificação das atividades que acrescentam valor, as atividades que não acrescentam valor, mas são necessárias e as atividades que não acrescentam valor, nem são necessárias e a posterior otimização através da eliminação das atividades desnecessárias;
- **Fluxo Contínuo:** execução das atividades que acrescentam valor através de um fluxo contínuo, adotando a técnica *one piece flow*, desde a matéria-prima ao produto acabado. Deste modo, o objetivo passa por evitar tempos de espera, tempos de inatividade ou desperdícios entre etapas.
- **Produção Pull:** a produção de um produto deve ser feita apenas quando o cliente solicita a sua encomenda. Desta forma, evita-se a acumulação de *stock* e o risco dos produtos se tornarem obsoletos, para isso os tempos de ciclo devem ser curtos.
- **Busca pela Perfeição:** Existem infinitas oportunidades de melhoria e a redução sistemática de desperdícios. O ciclo contínuo de melhoria é conhecido por *Kaizen*, onde se pretende reduzir e eliminar o esforço, tempo, espaço, custos e todas as outras fontes de desperdício.

Os princípios *Lean* e a filosofia *Lean Thinking* são metodologias utilizadas que provaram ser muito úteis para aumentar a produtividade e a qualidade dos produtos. Nos últimos anos, tem-se começado a aplicar também princípios e técnicas *Lean* no desenvolvimento de *software*.

Poppendieck & Poppendieck (2003) e Hibbs, Jewett, & Sullivan (2019) identificaram princípios *Lean* para serem aplicados aquando o desenvolvimento de *software*.

Eliminar o desperdício: Para facilitar a identificação de desperdícios no desenvolvimento de *software*, adaptaram-se os sete desperdícios industriais em sete desperdícios no desenvolvimento de *software*.

- O desperdício do Inventário adapta-se ao desperdício do Trabalho Parcialmente Concluído. Um trabalho parcialmente concluído é algo que começou a ser executado, mas ainda não foi terminado. Isto pode ser referente a requisitos que ainda não foram codificados, a código que ainda não foi testado, documentado ou implementado, ou erros que ainda não foram corrigidos. Em vez de deixar o trabalho parcialmente concluído acumular-se, a abordagem *Lean* impede esta paragem de capital através do uso da técnica *one piece flow*, que procura a implementação de uma ferramenta de cada vez, o mais rapidamente possível.
- O desperdício do Sobreprocessamento adapta-se ao desperdício dos Processos Desnecessários: Os processos desnecessários interferem na produtividade e não acrescentam valor. Nesta categoria incluem-se os procedimentos que não atingem nenhum objetivo, os documentos que ninguém lê e as tarefas manuais que podem ser automatizadas.
- O desperdício Sobreprodução adapta-se ao desperdício dos Recursos Extra. Durante o ciclo de vida do *software*, o custo de escrever código provavelmente é o menor custo. O código também precisa de ser projetado, documentado e atualizado, através de alterações e aperfeiçoamentos. A regra 80/20 aplica-se na maior parte do *software*: 80% das necessidades reais do utilizador são satisfeitas por 20% da estrutura do produto. Isso significa que os restantes 80% são recursos extra raramente utilizados. Se um recurso não atende a uma necessidade clara do cliente, então não deve ser criado.
- O desperdício Movimento adapta-se ao desperdício de Troca de Tarefas. A troca de tarefas e as interrupções perturbam a produtividade, uma vez que o cérebro precisa de algum tempo para se concentrar na tarefa a ser executada. Através da implementação da técnica *one piece flow* é possível a conclusão de um projeto, sem o desperdício associado à troca de projetos.

- O desperdício esperas adapta-se ao desperdício dos Atrasos. Ao longo do desenvolvimento de um projeto de *software* são tomadas decisões constantemente. Se o programador tiver conhecimento alargado do sistema que está a ser concebido, então será capaz de responder ou deduzir à maioria das questões que surgirem. Contudo, se não souber tudo, terá de fazer as questões aos colegas de trabalho, aos clientes ou a outros acionistas. Se essas pessoas estiverem disponíveis, então não haverá atrasos no desenvolvimento do *software*, mas se a questão não puder ser esclarecida no imediato, as hipóteses de ação são: a suspensão do projeto e a troca por outro; tentar deduzir a resposta, mas caso esteja errada, haverá um retrabalho; ou procurar encontrar a resposta. Qualquer um destes três cenários tem desperdícios associados. Logo, é de denotar a importância da criação de equipas integradas, que incluam o cliente, ou um representante, para prestar esclarecimentos que surjam.
- O desperdício dos Transportes adapta-se ao desperdício da Transferência. Nos grandes projetos é comum a sequência dos seguintes acontecimentos: os analistas criam um documento com todos os requisitos do produto e entregam aos arquitetos; os arquitetos atendem aos requisitos e criam o design do produto, que é entregue aos programadores; os programadores escrevem o código para conceber o design e passam o projeto para ser testado no controle de qualidade; os testes no controle de qualidade validam o produto resultante de acordo com os requisitos. Neste processo, em cada transferência, perde-se uma grande quantidade de conhecimento, porque não é possível guardar e transmitir tudo o que foi aprendido, descoberto e criado. A compreensão incompleta leva à ocorrência de erros e omissões, o que exige um retrabalho para a sua correção.
- Os defeitos implicam um retrabalho, que é sempre um desperdício sem valor acrescentado. A abordagem *Lean* foca-se na prevenção da ocorrência de defeitos, enquanto que o desenvolvimento tradicional procura encontrar os defeitos depois de já terem ocorrido. Os defeitos são especialmente dispendiosos quando são detetados tardiamente. Quando um defeito é encontrado, a abordagem *Lean* é detetar a raiz da causa do defeito e fazer alterações que garantam que o defeito não ocorra novamente. No desenvolvimento de *software*, isso significa ter um conjunto de testes automatizados que evitam que os defeitos entrem no *software* sem serem detetados.

Aumentar a qualidade. A inspeção do produto do final da linha produtiva permite a deteção dos produtos defeituosos, mas não permite a deteção da causa do erro. Se em cada etapa do processo for incorporado um sistema à prova erros e uma autoinspeção, torna-se mais fácil detetar a falha que ocorreu no sistema. Segundo a abordagem *Lean*, quando um erro é detetado, toda a linha de produção deve parar até que a causa raiz do problema seja descoberta e o problema corrigido. Para o código ser à prova de erros, é preciso a construção de testes que impeçam que as alterações consecutivas no código produzam defeitos não detetados.

Registrar o conhecimento adquirido. Registrar e guardar o conhecimento adquirido, permite uma localização da informação mais rápida. Além disso, é bastante vantajoso o registo das escolhas que se fazem ao longo do desenvolvimento de um projeto caso seja necessário localizar a informação ou escolhas tomadas.

Adiar compromissos. As melhores decisões são tomadas quando se tem muita informação disponível. Se não é necessária uma tomada de decisão imediata, é mais vantajoso esperar pela obtenção de mais informação, principalmente quando se tratam de decisões irreversíveis. Além disso, o teste de várias hipóteses pode parecer que tem desperdício associado, mas a escolha errada pode significar oportunidades perdidas.

Entregas rápidas. A abordagem *Lean* apoia o fornecimento de pequenas porções do projeto ao cliente, para que este possa fornecer uma apreciação e alterar requisitos futuros que sejam importantes incorporar. Assim, à medida que o projeto está a ser desenvolvido há uma comunicação significativa com o cliente, para que o resultado seja um produto que atenda às suas necessidades reais. E, ao mesmo tempo, a abordagem *lean* elimina uma grande quantidade de desperdício e retrabalho.

Respeito pelas pessoas. Respeitar as pessoas é confiar na sua sabedoria ao executarem o seu trabalho, é envolvê-las para que possam expor falhas que detetam no sistema e é incentivá-las a encontrar formas de aprimorar a realização das tarefas.

Otimizar o todo. Este é um princípio muito importante do *Lean Thinking*, independentemente da área de aplicação. Sempre que se otimiza um processo local, o objetivo é melhorar todo o fluxo da cadeia de valor.

2.2 Simulação

2.2.1 Definição de simulação

Ao longo dos anos houve vários autores que definiram o termo simulação. O autor Shannon (1975) define simulação como um processo de concepção de um modelo de um sistema computadorizado ao longo do tempo, e a submissão desse modelo a experiências com o propósito de entender o comportamento do sistema ou para avaliar várias estratégias para a operação do sistema.

Para Banks (1998), a simulação envolve a geração de uma história artificial do sistema e a sua observação para extrair dados ou conclusões (inferências) sobre as características operacionais do sistema real que é representado.

Para White & Ingalls (2009) uma simulação é um método experimental, que envolve a criação de um modelo que retrata uma série de comportamentos, o estudo do modelo para gerar observações desses comportamentos, e a tentativa de entender, resumir e generalizar esses comportamentos. Em muitas situações, a simulação envolve também o teste e comparação de projetos alternativos [referencia].

Os autores Silva, Trigo, Varajão, & Pinto (2010) afirmam que quando bem utilizada, a simulação é uma excelente ferramenta para analisar ações alternativas e antecipar o impacto causado, com a mais valia de racionalizar os gastos dos recursos. Segundo os autores Pegden & Sturrock (2014) uma simulação auxilia a tomada de decisões inteligentes, com base nos resultados extraídos da simulação.

Todas estas definições sustentam a presença de duas linhas gerais para a definição deste conceito: a constatação de que uma simulação é uma representação de um sistema, e que para a representação de tal sistema é necessário construir-se uma história artificial com as características reais do sistema, i.e., um modelo do mesmo.

Uma simulação tem um conjunto conceitos inerentes que constituem e caracterizam esta ciência. Os autores Morgan, Banks, & Carson (1984), Paiva (2005) e (A. A. C. Vieira, 2019) expõem uma terminologia e conceitos comuns a qualquer simulação:

Sistema: O modelo de simulação deve ser capaz de representar um dado sistema, bem como as suas variações ao longo do tempo. Estas variações do sistema são representadas através de variáveis de estado que capturam as propriedades de um sistema em um determinado período de tempo;

Modelo: Um modelo constitui uma representação de um sistema e contém estruturas lógicas e matemáticas que descrevem o mesmo;

Entidade: Uma entidade é retratada por qualquer objeto ou componente no sistema que requer uma representação explícita no modelo. Uma entidade pode ser classificada como temporária ou permanente. As entidades temporárias entram no sistema, percorrem um dado caminho e saem do sistema. As entidades permanentes executam a sua função sem abandonar o sistema;

Atributos: Os atributos são propriedades que caracterizam uma entidade;

Atividade: Uma atividade corresponde a um estado ativo de uma ou mais entidades e tem uma duração temporal associada;

Variável: Uma variável contém informação que descreve o sistema num determinado instante temporal;

Recursos: Um recurso é um objeto em que a entidade permanece por um determinado tempo para ser processada, para esperar por um dado acontecimento, entre outras possibilidades;

Eventos: Um evento é um acontecimento ou ocorrência num determinado instante temporal que pode alterar o estado do sistema;

Filas: Uma fila representa um local de espera, onde as entidades aguardam numa dada ordem a sua vez para atravessarem o sistema;

Relógio de simulação: O relógio de simulação constitui uma variável que apresenta o tempo decorrido numa simulação.

2.2.2 Classificação dos modelos de simulação

A apresentação e funcionamento de uma simulação varia conforme as características do modelo em que decorre a simulação. Os autores Kelton & Law (1983) atribuem três classificações possíveis aos modelos de simulação:

- **Estáticos versus Dinâmicos:** Um modelo estático de simulação representa um sistema num determinado momento, ou ponto temporal, enquanto que um modelo dinâmico representa um sistema que se altera ao longo do tempo de simulação.
- **Determinísticos versus Estocásticos:** Num modelo de simulação determinístico não existem variáveis aleatórias. Os resultados obtidos não se alteram, uma vez que as variáveis de

entrada são fixas. Por sua vez, num modelo de simulação estocástico as variáveis de entrada são aleatórias, o que produz diferentes resultados.

- **Discretos ou Contínuos:** Num sistema contínuo os valores das variáveis de estado mudam continuamente ao longo do tempo de simulação. Num sistema discreto os valores das variáveis de estado mudam em espaços temporais específicos ao longo do tempo de simulação.

2.2.3 Etapas para a modelação de uma simulação

Morgan, Banks, & Carson (1984) definem uma série de etapas a seguir para a modelação de uma simulação. Contudo, os autores consideram o processo de simulação dinâmico, a respetiva modelação pode ser melhorada e ajustada continuamente.

Identificação do problema: Numa primeira fase é essencial definir-se claramente o problema a ser estudado. Contudo, uma vez que o processo de simulação é dinâmico, é normal ao longo do estudo haver uma redefinição do problema em causa;

Definição dos objetivos: Nesta etapa, ao serem definidos os objetivos, estão a ser evidenciadas as questões propostas a serem esclarecidas pela simulação;

Conceção do modelo: Esta etapa inicia-se com a construção de um modelo que contem os recursos e características essenciais ao sistema. Após isso, o modelo deve ser enriquecido e elaborado para se aproximar de uma representação útil do sistema em estudo. Contudo, o modelo não precisa de exceder em complexidade para cumprir com os objetivos estabelecidos. A essência real do sistema constitui o valor necessário para o sucesso da simulação;

Recolha de dados: Esta etapa deve ser iniciada idealmente em simultâneo com a etapa anterior, da conceção do modelo, uma vez que o tempo necessário para a recolha de dados normalmente ocupa uma grande porção do tempo total despendido na construção do modelo e há uma interação constante entre a construção do modelo e a entrada de dados. À medida que a complexidade do modelo vai evoluindo, os dados necessários também podem mudar;

Implementação do modelo num computador: O modelador deve transferir o modelo desenvolvido para uma ferramenta de simulação, num computador;

Verificação: Para a verificação do funcionamento do modelo na ferramenta de simulação, a estrutura do modelo deve corresponder ao que estava previamente estabelecido e definido no desenho do modelo;

Validação: A validação do modelo normalmente é obtida através do aperfeiçoamento do sistema, ao ser comparado com o sistema real. O processo é repetido até que a precisão do modelo seja aceitável;

Plano de testes: Nesta etapa são definidos os cenários a serem testados na simulação, com o propósito de serem atingidos os objetivos estabelecidos. Nesta etapa, são igualmente definidos o começo e o tempo de simulação, assim como, o número de simulações a serem executadas e as variáveis a analisar nos diferentes cenários;

Execução do modelo e análise: O modelo é executado conforme o plano de testes e são extraídos resultados. Estes resultados são analisados, de forma a serem obtidas medidas de desempenho que permitem a comparação dos diferentes cenários;

Documentação: Esta etapa inclui a elaboração de manuais de utilização e documentação técnica com descrições detalhadas do modelo de simulação. A documentação é uma etapa importante, uma vez que facilita a elaboração de projetos futuros;

Implementação: Por fim, o modelo pode sofrer ainda pequenos ajustes, para a respectiva validação final e é importante também formar o utilizador, para que este utilize a ferramenta com a máxima eficiência.

2.2.4 Vantagens e desvantagens da simulação

Os autores Banks (1998), Fowler & Rose (2004) e Kelton (1983) apresentam um conjunto de inúmeras vantagens e algumas desvantagens associadas à concepção de uma simulação, nas suas obras. As vantagens enunciadas são as seguintes:

- A simulação quando constitui uma representação rigorosa de um sistema, permite uma boa compreensão do sistema em estudo e a análise de diversas medidas de desempenho;
- A simulação possibilita a compressão e expansão do tempo de funcionamento do sistema, de forma a facilitar o respetivo estudo;
- O controlo e monitorização das variáveis do sistema, permite o estudo de alternativas sem riscos e custos associados;
- A simulação possibilita a antecipação da deteção de problemas reais;
- A simulação permite o diagnóstico de problemas como, por exemplo, a identificação de pontos de estrangulamento no sistema;

- A simulação tem a capacidade de resolver problemas complexos;
- A simulação quando bem elaborada, permite a tomada de decisões inteligentes.

Por sua vez, também são apresentadas algumas desvantagens:

- O desenvolvimento de um modelo requer alguma formação ou experiência na utilização da ferramenta;
- O desenvolvimento do modelo pode ser demorado e, por isso, ter um custo elevado associado. Esta situação ocorre, por exemplo, quando os dados são difíceis de obter ou são incoerentes;
- Ao se assumir certos pressupostos na simulação pode ser retirado algum rigor ao funcionamento do modelo;
- Quando se quer uma representação muito rigorosa de um sistema, a respetiva modelação pode ser complexa e difícil de se construir.

2.2.5 Ferramentas de simulação

Atualmente, a modelagem de simulações é amplamente utilizada para melhorar o desempenho de muitos sistemas. Portanto, a comparação de ferramentas de simulação torna-se uma tarefa necessária (A. Vieira, Dias, Pereira, & Oliveira, 2014).

Os autores Dias, Vieira, Pereira, & Oliveira (2016) realizaram um estudo para avaliar a popularidade de uma série de ferramentas de simulação. Este estudo teve em consideração sites da internet, publicações científicas, redes sociais, entre outros. Apesar da subjetividade inerente ao estudo, os autores apontam que a ferramenta ARENA é a que mais se destaca em termos de popularidade. Posteriormente, num primeiro cluster de ferramentas de simulação surgem as ferramentas ProModel, FlexSim, Simul8 e WITNESS. No segundo cluster destacam-se as ferramentas ExtendSim, Simio, PlantSimulation and AnyLogic. Por fim, no terceiro cluster evidenciam-se as ferramentas Simprocess, Automod, Micro Saint, Enterprise Dynamics e Process Model. Contudo, a popularidade de uma ferramenta não deve ser um fator isolado de decisão na escolha de uma ferramenta de simulação. Se uma ferramenta A é mais popular que uma ferramenta B, não significa que a primeira seja superior à segunda (A. Vieira, 2013).

Perante este estudo, os autores Vieira, Dias, Pereira, & Oliveira (2014) decidiram elaborar outro estudo para comparar as ferramenta de simulação Arena, que se destacou em termos de popularidade, e a ferramenta SIMIO, que no mesmo estudo obteve uma boa classificação sendo a ferramenta mais recente.

Além disso, estas duas ferramentas, Arena e SIMIO, foram desenvolvidas pelos mesmos autores: Dennis Pegden e David Sturrock.

A diferença mais visível entre as duas ferramentas está na respetiva animação. Enquanto no Arena a animação é desenvolvida numa etapa separada da modelagem, no SIMIO a modelagem e a animação são feitas numa única etapa e o link direto com o Google Warehouse permite uma maior semelhança dos modelos aos sistemas reais. Além disso, a modelagem no Arena é orientada aos processos, enquanto que o SIMIO permite a construção de modelos orientados ao objeto, permitindo o desenvolvimento de modelos de simulação mais complexos, e com comportamentos mais similares aos do sistema real. Existem outras diferenças enumeradas, mas no geral, os autores concluíram que os vários aspetos comparados indicam muitas vantagens no uso da ferramenta mais recente.

2.2.6 SIMIO

O SIMIO é uma ferramenta de modelagem de simulação baseada em objetos inteligentes (Pegden & Sturrock, 2010). Embora seja possível criar modelos orientados a processos no SIMIO, os modelos são construídos normalmente orientados a objetos. Os objetos definem a lógica e a animação do modelo (Pegden, 2009). Além disso, no SIMIO não existe a necessidade da escrita de código de programação, sendo este processo completamente gráfico.

Existem seis classes de objetos no SIMIO, que fornecem um ponto de partida para a criação de objetos inteligentes. Os autores Pegden & Sturrock (2010) apresentam um esquema das classes dos objetos no SIMIO, representado na Figura 2.

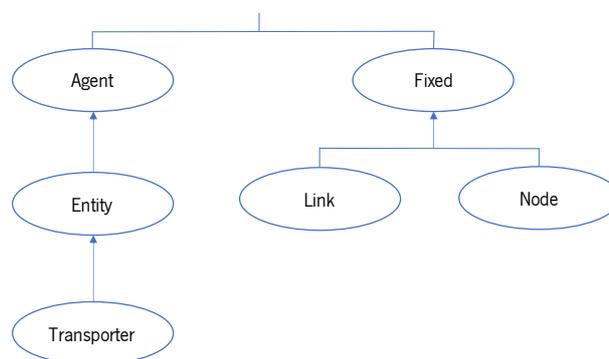


Figura 2: Classes de Objetos no SIMIO

Fixed: Os objetos fixos têm uma localização que não se altera com o decorrer do tempo, por exemplo uma máquina em funcionamento sempre no mesmo local. Este objeto tem como subclasses dois objetos *Link* e *Node*;

Link: Um link define um caminho por onde as entidades circulam entre objetos do sistema;

Node: Um nodo pode definir um ponto inicial ou final de um link, ou seja, de entrada ou saída de um objeto, mas também pode ser usado para estabelecer interseções entre uma ou mais ligações;

Agent: Os agentes são objetos que se podem mover livremente pelo espaço tridimensional de um modelo. Este objeto tem como subclasse de objeto a *Entity*;

Entity: As entidades são objetos dinâmicos, que se movem no sistema de objeto para objeto através de uma rede de links e nodos. Este objeto tem como subclasse de objeto o *Transporter*;

Transporter: Este objeto é considerado uma entidade especial que possui a capacidade de transportar uma ou mais entidades de um nodo para outro.

O *software* de modelagem SIMIO permite criar e executar modelos dinâmicos de animação 3D de uma ampla variedade de sistemas - por exemplo fábricas, cadeias de abastecimentos, departamentos de emergência e sistemas de serviços (Pegden & Sturrock, 2014).

3 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA E DESCRIÇÃO E ANÁLISE CRÍTICA DA SITUAÇÃO INICIAL

Neste capítulo apresenta-se a empresa onde foi desenvolvida a dissertação, com a descrição dos produtos fabricados, do organigrama da organização e dos processos produtivos existentes. Depois, analisa-se a situação inicial, através da apresentação das áreas em estudo, da identificação de problemas e da definição de objetivos para o desenvolvimento das ferramentas, de forma a solucionarem os problemas identificados.

3.1 Apresentação da empresa

No presente subcapítulo apresenta-se a empresa onde o projeto de dissertação foi elaborado, a estrutura organizacional, os principais produtos fabricados e o processo produtivo geral. Por questões de confidencialidade não é possível identificar o nome da empresa.

3.1.1 Organização

A empresa onde se desenvolveu a dissertação utiliza como principal matéria-prima a cortiça. A cortiça é um produto natural, reutilizável e reciclável com propriedades únicas. Permite um isolamento acústico e térmico, é resistente ao fogo e a altas temperaturas, possui uma boa elasticidade e compressibilidade, é um material hipoalergénico, é impermeável a líquidos e a gases, entre outras propriedades.

Contudo cada vez mais, a organização tem vindo a incorporar outros materiais como a borracha, espumas e plásticos reciclados, que proporcionam um leque ainda mais alargado de produtos. A empresa utiliza toda esta matéria-prima para pesquisar, desenvolver e fabricar soluções sustentáveis, as quais têm aplicações em múltiplas indústrias, como a aeroespacial, automóvel, de construção e de retalho, tanto no mercado nacional como internacional. Alguns exemplos de produtos desenvolvidos pela organização são: juntas, calçado, pavimentos, bens de consumo, revestimentos acústicos e superfícies desportivas.

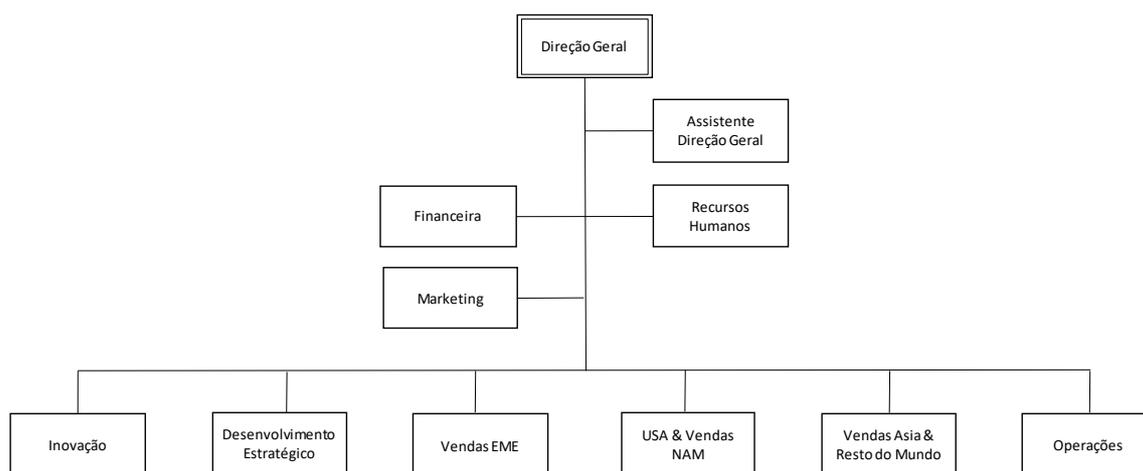


Figura 3: Organograma da Organização

Na Figura 3 apresenta-se a estrutura organizacional, que se divide em vários setores. Cada setor tem um diretor responsável pelo funcionamento do mesmo e cada setor subdivide-se em vários departamentos.

3.1.2 Processo produtivo geral

A cortiça utilizada pela empresa provém de extrações da casca do sobreiro, de resíduos provenientes de outras unidades industriais ou de desperdícios gerados ao longo dos processos da própria organização. Os outros materiais, a espuma, borracha e plástico reciclado provêm de fornecedores externos.

A cortiça proveniente é triturada, através de moinhos industriais e, posteriormente, nas peneiras industriais é feita uma separação e seleção dos grãos resultantes, conforme a densidade e a granulometria. Os granulados resultantes deste processo, podem ser vendidos como produto final, ou transportados por condutas, através da sucção, para os silos.

Para se realizar o processo de aglomeração pode-se utilizar moldes de blocos, cilindros ou folhas curadas à espessura, FCEs. As misturas que contêm apenas cortiça e cola formam aglomerados de composto, e quando se utilizam outros materiais é possível a obtenção de aglomerados de borracha ou aglomerados de desperdícios de borracha.

Uma referência é constituída por um código de quatro dígitos, que pode conter números ou letras, e para cada referência estão determinados os componentes e respetivas proporções para se formar uma dada mistura. Além disso, para cada referência estão estabelecidos quais os moldes que se podem utilizar para se aglomerar a mistura. Existem vários moldes de blocos, cilindros e FCE. Caso uma referência

permita a aglomeração de um destes três produtos, não significa que se pode aglomerar a mistura em qualquer molde existente.

A mistura no molde atravessa estufas de alta frequência ou estufas convencionais para se dar a aglomeração. Posto isto, os produtos são desmoldados e colocam-se num armazém de produto intermédio para arrefecerem e estabilizarem. O resultado deste processo são blocos, cilindros ou FCE, que podem ser produto acabado ou produto intermédio, tal como representado na Figura 4.

Os cilindros laminados em espessura formam rolos e os blocos se sofrerem algum tipo de transformação a nível de comprimento, largura ou altura, transformam-se em placas. Os rolos também podem ser transformados em placas. Os rolos e placas podem ser considerados produtos finais, ou produtos intermédios se passarem à fase dos acabamentos, onde se procede a customização de produtos. As FCEs também podem ser consideradas produto final, ou produto acabado se sofrerem alguma transformação ao nível do comprimento, largura ou espessura. Assim, conforme as características do produto, o fluxo produtivo pelo qual o material atravessa varia.

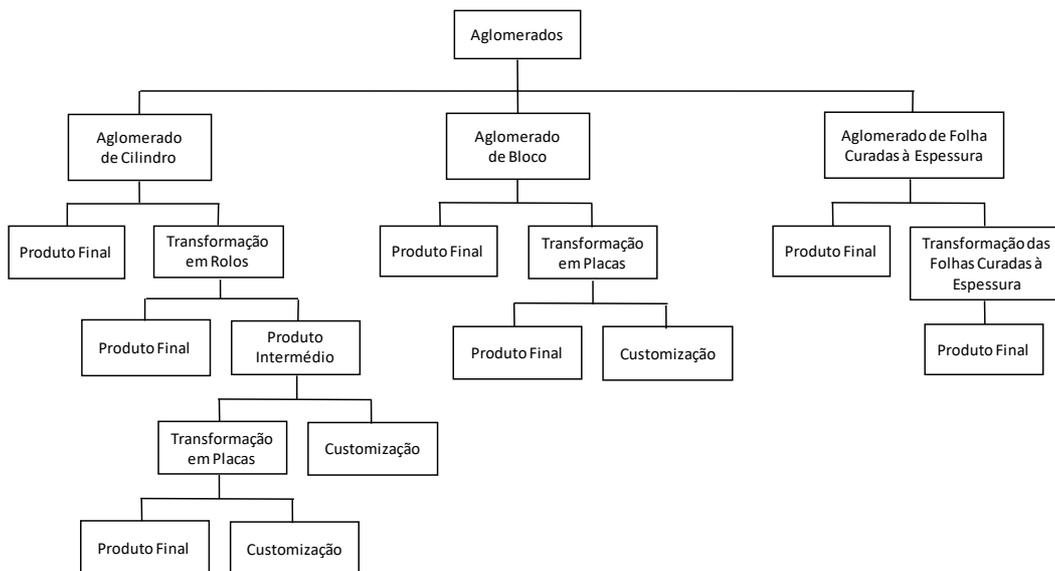


Figura 4: Fluxo produtivo após a aglomeração

3.2 Descrição e análise crítica da situação inicial

Neste subcapítulo descrevem-se as áreas em estudo, através da apresentação do funcionamento do departamento de engenharia do produto e das linhas de rebobinagem e embalagem automática de rolos de aglomerado composto. Num momento seguinte, identificam-se problemas nas áreas em estudo e a motivação que levou ao desenvolvimento das ferramentas de suporte à tomada de decisão. Por fim,

definem-se os objetivos para o desenvolvimento das ferramentas de suporte à tomada de decisão, de forma a solucionarem os problemas identificados.

3.2.1 Departamento de engenharia do produto

Na secção de operações existem vários departamentos, um deles é o de engenharia, que engloba, por sua vez, outros departamentos: o departamento de engenharia do produto, engenharia do projeto, melhoria contínua e economia circular. Cada um destes departamentos é responsável por cumprir com as tarefas estabelecidas.

O departamento de engenharia do produto, entre outras atividades, é responsável por dar resposta a informações solicitadas pelos clientes ao departamento comercial. Por exemplo, informação de quais as referências que conseguem ir ao encontro de certos requisitos e o estudo da possibilidade de conceção de um novo produto.

Como já foi dito anteriormente, uma referência é constituída por um código de quatro dígitos e para cada referência estão determinados os componentes e respetivas proporções utilizados para se obter uma dada mistura. A partir dessa mistura pode-se aglomerar blocos, cilindros e/ou FCE, contudo para cada uma das referências está estabelecido que moldes se podem utilizar.

Os requisitos que os clientes podem escolher são, por exemplo, a densidade do material, as dimensões do produto e o tipo de acabamento. A equipa de engenharia do produto tem este tipo de informação reunida em ficheiros *Exce/*, ou está contida na memória de alguns colaboradores.

Quando há o pedido de um cliente de um novo produto, é também da responsabilidade da engenharia do produto estudar a possibilidade de conceção desse produto e associar um custo de produção interno. Para tal, é necessário definir o aglomerado a ser utilizado, proceder-se à análise das limitações técnicas dos equipamentos, e, caso seja exequível a produção desse novo produto, definir os processos produtivos pelos quais o material tem de atravessar.

3.2.2 Linhas de rebobinagem e embalagem automática de rolos de aglomerado composto

Os cilindros resultantes do processo de aglomeração podem ser laminados em rolos nas laminadoras. As linhas de rebobinagem e embalagem automática de rolos contém uma tecnologia inovadora, que permitem realizar automaticamente as operações de rebobinagem e embalagem dos rolos. Contudo, não funcionam completamente sozinhas, são necessários dois colaboradores. Um dos colaboradores é

responsável pela laminagem dos cilindros e o outro colaborador é responsável por toda a zona de embalagem.

Numa primeira fase, o primeiro colaborador coloca um cilindro numa laminadora, a qual lamina o cilindro para realizar a operação de limpeza. Após estas operações de setup, o cilindro já limpo é laminado na espessura pretendida e forma um rolo contínuo de cortiça. Este rolo contínuo avança até ao rebobinador, onde é enrolado e cortado, formando os rolos finais com o comprimento pretendido.

Existem duas linhas de rebobinagem e embalagem automática de rolos de aglomerado composto, em paralelo. Cada linha contém uma laminadora, um rebobinador e um tapete rolante, tal como representado na Figura 5. O mesmo colaborador que realiza as operações de setup também é responsável por afinar a espessura em que está a ser laminado o cilindro e por assegurar o correto funcionamento das laminadoras e dos rebobinadores.

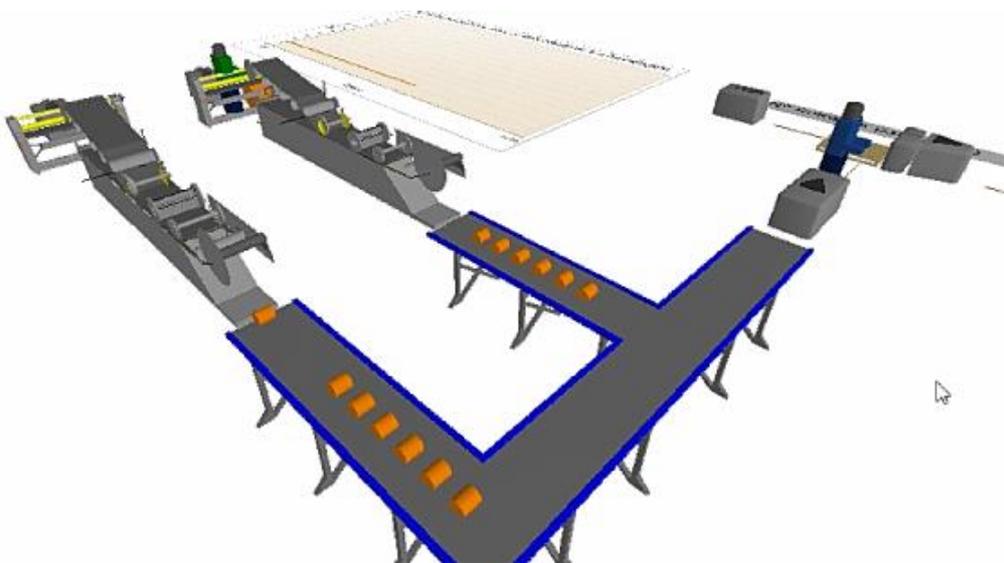


Figura 5: Representação das linhas de rebobinagem e embalagem automática de rolos (com recurso ao software SIMIO)

Após a operação de rebobinagem, os rolos seguem pelos tapetes rolantes até à zona de embalagem, onde o segundo colaborador é responsável por todos os processos que aqui se realizam. Os rolos podem ser embalados em plástico, cartão e/ou caixa. Se o rolo for embalado em plástico há uma máquina que realiza automaticamente essa operação. Se o rolo for embalado em cartão ou caixa, o processo de embalagem é manual, realizado pelo segundo colaborador. Após o rolo estar embalado, o colaborador transporta-o até à palete. Após a palete estar completa com rolos, procede-se à embalagem da palete. Por fim, o colaborador desloca o conjunto formado por carris, para depois ser recolhido e coloca uma nova palete no respetivo local.

3.2.3 Identificação de problemas no departamento de engenharia do produto

Tal como mencionado anteriormente, o departamento de engenharia do produto é responsável por dar resposta a informações solicitadas pelos clientes ao departamento comercial. Informação de quais as referências que conseguem ir ao encontro de certos requisitos e da possibilidade de conceção de um novo produto.

Para dar resposta de quais as referências que vão ao encontro dos requisitos pretendidos, o departamento de engenharia do produto contém reunida informação em vários ficheiros e outra parte da informação necessária está retida na memória de alguns colaboradores. Foram detetadas limitações no trabalho de seleção das referências, uma vez que existe dispersão de informação em vários ficheiros, que leva a um maior tempo despendido na procura, retenção de informação nos supervisores ou outros colaboradores, que dificulta o acesso a essa informação e aumenta a possibilidade de ocorrerem erros humanos, e à ausência de ferramentas de automatização de pesquisa, que facilitem a pesquisa da informação.

Para o estudo da possibilidade de conceção de um novo produto, o departamento de engenharia além de precisar de saber as características de cada referência, também necessita de ter conhecimento das limitações técnicas dos equipamentos e os vários fluxos produtivos que existem. Ora esta informação também se encontra dispersa em vários ficheiros ou está retida na memória de alguns supervisores ou outros colaboradores. Estas condições, novamente, fazem com que se dispense mais tempo à procura da informação e a uma maior probabilidade de ocorrerem erros humanos. Ademais, a ausência de ferramentas de automatização de pesquisa também dificulta a pesquisa da informação.

Assim, para diminuir o tempo dos recursos humanos despendido na recolha, gestão e seleção da informação e para a diminuição da probabilidade de ocorrência de erros, serão construídas ferramentas de automatização da pesquisa de informação: uma ferramenta de pesquisa das referências que cumprem com os requisitos pretendidos e uma ferramenta de pesquisa das dimensões disponíveis ou das etapas produtivas.

3.2.4 Identificação de problemas nas linhas de rebobinagem e embalagem automática de rolos de aglomerado composto

Nas linhas de rebobinagem e embalagem automática de rolos de aglomerado composto há vários fatores que determinam a cadência produtiva do sistema, nomeadamente, a espessura e o comprimento do rolo

pretendido e o tipo de embalagem utilizado. Quanto menor a espessura dos rolos, maior é o tempo de laminagem do cilindro, uma vez que é preciso um maior controlo e precisão da máquina. O rebobinador, por sua vez, adapta a velocidade com que enrola e corta os rolos, para que, desta forma, não haja acumulação de material entre as duas máquinas. Por fim, dependendo do tipo de embalagem, o tempo de ciclo do posto da embalagem varia, sendo que, a embalagem de plástico é a que tem um menor tempo de ciclo associado, uma vez que existe uma máquina que automatiza esse processo.

Todos estes fatores, as características do rolo e da embalagem influenciam o funcionamento do sistema. Por esse motivo, dependendo da produção, o sistema pode estar balanceado ou não. Quando o sistema não está balanceado a zona de embalagem não consegue dar vazão aos rolos que chegam a montante e os colaboradores param uma das linhas para impedir que os rolos fiquem amontoados nos tapetes rolantes. Isto acontece quando o tempo de ciclo dos primeiros postos é inferior ao tempo de ciclo da zona de embalagem.

Desta forma, para se prever o balanceamento do sistema conforme a produção e para o estudo de soluções que impeçam esta acumulação de rolos, será construída uma simulação das linhas de rebobinagem e embalagem automática de rolos de aglomerado composto.

3.2.5 Definição dos objetivos

Face aos problemas identificados foram definidos dois objetivos: o desenvolvimento de ferramentas de automatização de pesquisa de informação e a construção de uma ferramenta de simulação das linhas de rebobinagem e embalagem automática de rolos de aglomerado composto.

Para o desenvolvimento das ferramentas de automatização de pesquisa de informação, numa primeira fase, foi necessário proceder-se ao levantamento e organização de uma série de informações. Recolheu-se e organizou-se numa base de dados as características de cada referência de aglomerado composto, aglomerado de borracha e aglomerado de desperdícios de borracha, estudou-se os equipamentos de transformação de cilindros, blocos e FCE e os fluxos produtivos. Esta informação foi organizada em tabelas e fluxogramas. Nas etapas posteriores, procedeu-se à automatização da apresentação dos moldes disponíveis ou das etapas produtivas para a obtenção de um produto, com recurso ao *Microsoft Excel* e ao VBA, e à automatização da seleção das referências que cumprem com os requisitos inseridos pelo utilizador, através do *Microsoft Access* e do VBA. Além disso, através do *Microsoft Excel* e do VBA,

automatizou-se a tarefa de atualizar a base de dados, para a remoção de referências obsoletas e a adição de novas referências.

Para a construção da ferramenta de simulação das linhas de rebobinagem e embalagem automática de rolos de aglomerado composto, numa primeira etapa, estudou-se o sistema e efetuou-se o levantamento e parametrização dos fatores críticos das linhas. A partir dessa informação construiu-se a simulação do sistema, com recurso ao *software* SIMIO. Através da simulação do sistema foi possível proceder-se à análise e estudo do balanceamento de vários cenários, conforme as características dos rolos e da embalagem. Para os sistemas não balanceados foram estudadas alternativas para evitar essa ocorrência.

4 RECOLHA DE INFORMAÇÃO PARA A CONSTRUÇÃO DAS FERRAMENTAS DE AUTOMATIZAÇÃO DE PESQUISA DE INFORMAÇÃO

Para o desenvolvimento das ferramentas de automatização de pesquisa de informação, foi necessário proceder-se à recolha e organização de vários parâmetros que caracterizam e diferenciam cada uma das referências. Uma referência é constituída por um código de quatro dígitos, que pode conter números ou letras, e para cada referência estão definidos os componentes e as respetivas proporções utilizadas para se obter uma mistura, a partir da qual se pode aglomerar blocos, cilindros e/ou FCE. Desta forma, construiu-se uma base de dados com características de cada referência, nomeadamente com a densidade, as espessuras mínimas e máximas de laminagem de blocos e/ou cilindros e os moldes disponíveis para a aglomeração em cada referência.

Numa fase posterior, para a determinação dos fluxos produtivos para a obtenção de placas, blocos e FCE, procedeu-se ao levantamento das limitações técnicas dos equipamentos, para ser possível determinar que produtos podem ou não ser produzidos.

Num momento seguinte, organizou-se em fluxogramas os fluxos produtivos, os quais variam conforme o tipo de produto, tipo de aglomerado, dimensões e características. A partir destes dados foi então possível programar a ferramenta de automatização de pesquisa de informação.

4.1 Moldes disponíveis para a aglomeração

Para cada uma das referências está determinado que produtos podem ser aglomerados: blocos, cilindros e/ou FCEs. Assim como, os moldes que podem ser utilizados para a aglomeração. Primeiro, são apresentados os moldes utilizados para a aglomeração de cilindros, depois para os blocos e, por fim, para as FCEs.

4.1.1 Moldes disponíveis para a aglomeração de cilindros

Após o processo de aglomeração, existem três dimensões que caracterizam um cilindro: o diâmetro interno (\emptyset_{ic}), o diâmetro externo (\emptyset_{ec}) e a altura (h), tal como se pode visualizar na Figura 6.



Figura 6: Dimensões de um cilindro

Existem seis categorias de cilindros. Cada categoria é caracterizada pelo diâmetro externo e diâmetro interno do cilindro, que são fixos, e a altura pode variar dentro de intervalos discretos. A Tabela 1 apresenta as seis categorias de moldes de cilindros: Cilindros CC, Cilindros CR – Calandrados, Cilindros CR – Ply ups, Cilindros CR – Rodas, Cilindros DS e Cilindros EC.

Para cada categoria estão definidos o diâmetro externo, o diâmetro interno e as alturas em que se pode aglomerar o cilindro. Para cada categoria também estão definidos os tipos de aglomerado que podem ser utilizados, uma vez que não é possível aglomerar qualquer mistura em qualquer molde existente.

Tabela 1: Moldes disponíveis para a aglomeração de cilindros

Categoria:	Diâmetro externo:	Diâmetro interno:	Alturas:	Tipos de Aglomerado:
Cilindros CNM	1100mm	195mm	31,5", 36", 38", 39", 40", 43", 48", 50", 54", 56", 60", 62", 72"	Aglomerado composto e aglomerado de desperdícios de borracha
Cilindros CR – Calandrados / Cilindros D25	25"	275mm	42"	Aglomerado de borracha
Cilindros CR – Ply ups / Cilindros D30	30"	165mm	37", 43", 49" e 54"	Aglomerado de borracha
Cilindros CR – Rodas / Cilindros D36	36"	220mm	63.5mm e 127mm	Aglomerado de borracha
Cilindros DS / Cilindros D39	39"	150mm	36", 40", 42", 44", 46", 48", 49", 50", 52", 54", 60" e 62"	Aglomerado composto e aglomerado de desperdícios de borracha
Cilindros EC	950mm	195mm	36", 40", 42", 48" e 50"	Aglomerado de desperdícios de borracha

Como se pode visualizar na Tabela 1, os moldes de cilindros disponíveis para a aglomeração composta são os Cilindros CNM e os Cilindros DS, os moldes de cilindros disponíveis para a aglomeração de borracha são os de Cilindros CR - os Calandrados, Cilindros CR - Ply ups e Cilindros CR - Rodas. E, por fim, os moldes de cilindros disponíveis para a aglomeração de desperdícios de borracha são os Cilindros CNM, Cilindros DS e os Cilindros EC.

4.1.2 Moldes disponíveis para a aglomeração de blocos

Após o processo de aglomeração, existem três dimensões que caracterizam um bloco: o comprimento (c), a largura (l) e a altura (a). Tal como se pode visualizar na Figura 7.

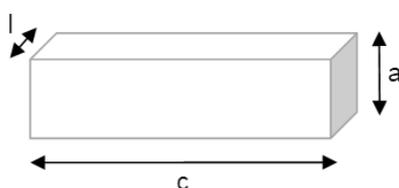


Figura 7: Dimensões de um bloco

Os moldes disponíveis para a obtenção de blocos de aglomerado composto e de aglomerado de desperdício de borracha diferem dos moldes disponíveis para a obtenção de blocos de aglomerado de borracha.

A Tabela 2 apresenta os moldes de blocos disponíveis para a obtenção de blocos de aglomerado composto e aglomerado de desperdícios de borracha. Cada molde tem um nome associado e estão definidas as dimensões de comprimento, largura e altura em milímetros.

Tabela 2: Moldes de blocos para a aglomeração composta e de desperdícios de borracha

Nome dos moldes:	comprimento x largura x altura
BL1	940x640x250mm
BL2	950x650x200mm
BL3M	950x650x210mm
BL3I	1030x530x210mm

A Tabela 3 apresenta os moldes de blocos disponíveis para a obtenção de blocos de aglomerado de borracha. Cada molde tem um nome associado e estão definidas as dimensões de comprimento e largura, sendo que a altura pode variar.

Tabela 3: Moldes de blocos para a aglomeração de borracha

Nome dos moldes:	Comprimento x largura:	Alturas:
CAE	915x915mm	6'' e 2''
CAF	1000x1000mm	6''
CAB	1270x660mm	6''
CAD	1270x760mm	6''
CAH	1270x1040mm	6''

4.1.3 Moldes disponíveis para a aglomeração de folhas curadas à espessura

Após a aglomeração de FCE existem três dimensões características: o comprimento (c), a largura (l) e a altura (a), tal como se pode visualizar na Figura 8.

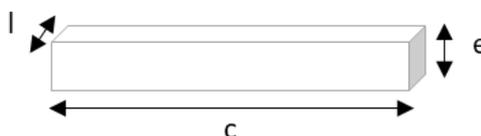


Figura 8: Dimensões de uma folha curada à espessura

A aglomeração de FCE só pode ser feita a partir de misturas de aglomerado de borracha. Na Tabela 4 estão representados todos os moldes disponíveis para a aglomeração de FCE. Para cada comprimento e largura há uma ou um conjunto de espessuras que se podem obter da aglomeração.

Tabela 4: Moldes de FCE

Comprimento x Largura (mm)	Espessuras (mm):
550 x 550	10, 15, 20, 25, 30, 50, 51, 60
1100 x 550	4, 5, 6, 6.5, 9, 10, 12, 13, 15, 18.5, 20, 25
1100 x 555	4, 5, 6, 10.8
1200 x 1200	13.5, 14.5
180 x 1930	10
4100 x 410	51
955 x 690	13
1100 x 480	13
1100 x 325	4.5
1120 x 585	4.5
985 x 390	4.5
1140 x 690	20
1120 x 550	8

4.2 Levantamento dos parâmetros característicos de cada referência

Existem três tipos de aglomerado: aglomerado composto, aglomerado de borracha e aglomerado de desperdícios de borracha. As misturas que contêm apenas cortiça e cola formam um aglomerado composto, e quando se utilizam outros materiais é possível a obtenção de aglomerados de borracha ou aglomerados de desperdícios de borracha. Por esse motivo, foi necessário proceder-se ao levantamento do tipo de aglomerado associado a cada referência.

Para cada referência estão também definidos os produtos que podem ser aglomerados: blocos, cilindros e/ou FCE e os moldes que podem ser utilizados para a aglomeração. Por isso, para cada referência recolheu-se a informação de que produtos e moldes se podem utilizar para se proceder à aglomeração. Além disso, analisou-se o histórico da produção dos últimos três anos na empresa, para o levantamento dos moldes mais utilizados para cada produto e referência.

Outros parâmetros recolhidos associados a cada referência foram: a densidade do aglomerado e as espessuras mínimas e máximas de laminagem de cilindros e blocos a frio e/ou a quente. O processo de laminagem em espessura pode ser realizado com o produto quente, ou frio. Deste modo, foi necessário identificar os intervalos de laminagem com o produto quente e/ou a frio em que se deve executar a operação de laminagem. Este registo foi recolhido através da análise do histórico de produção, referente aos produtos laminados e através da ajuda de outros colaboradores com conhecimentos nesta área. Deste modo, foram construídas tabelas em *Excel* com os parâmetros característicos de cada referência, constituindo assim a base de dados.

Por fim, foi necessário proceder-se ao registo das referências alternativas. Existem referências que só permitem a aglomeração de cilindros, mas possuem uma referência alternativa, uma referência cuja mistura é similar e que permite a aglomeração de blocos. E o mesmo no sentido oposto, existem referências que só permitem a aglomeração de blocos, mas possuem uma referência alternativa, uma referência com uma mistura similar, que permite a aglomeração de cilindros. Esta informação também foi reunida numa tabela.

4.3 Levantamento das limitações técnicas dos equipamentos

Como já foi mencionado anteriormente, os blocos podem ser transformados em placas, os cilindros podem ser transformados em rolos, os rolos podem ser transformados em placas e as FCEs também

podem ser transformadas. Para cada um dos processos de transformação, fez-se o levantamento dos equipamentos utilizados e estudou-se as respectivas limitações técnicas.

4.3.1 Equipamentos utilizados para a transformação de cilindros em rolos

Para a obtenção de um rolo, a primeira operação a realizar é a laminagem de um cilindro em espessura. O equipamento que realiza essa operação é a laminadora. Além disso, as laminadoras possuem lâminas laterais que podem aparar o rolo em largura, ou mesmo executar cortes longitudinais para a obtenção de mais de um rolo pela largura. O número de lâminas transversais varia de laminadora para laminadora.

À medida que um rolo contínuo se vai formando há uma rebobinagem do rolo e quando o rolo atinge o comprimento final são ativadas facas transversais que realizam a operação de corte em comprimento do rolo. Contudo, devido às infraestruturas de cada laminadora, há um limite de comprimento que o rolo pode assumir, ou seja, existe um raio máximo que o rolo pode atingir.

Assim, cada laminadora tem a si associadas limitações técnicas que definem as dimensões máximas que os rolos podem ter. Estas dimensões limitam os intervalos de espessura, o comprimento e a largura dos rolos.

Os cilindros de aglomerado composto têm um conjunto de laminadoras onde podem ser laminados e os cilindros de aglomerado de borracha e de desperdícios de borracha têm outro conjunto de laminadoras onde podem ser laminados.

A Tabela 5 apresenta as oito laminadoras disponíveis para a transformação de cilindros de aglomerado composto e os limites dimensionais dos rolos para cada laminadora.

Tabela 5: Laminadoras dos cilindros de aglomerado composto e limites dimensionais dos rolos para cada laminadora

	Espessura Mínima (mm)	Espessura Máxima (mm)	Largura máxima (mm)	Largura mínima (mm)	N.º máximo de rolos a retirar da largura	Raio máximo do Rolo (mm)
LAM 18	0.8	25.4	1828.8	-	2	748
LAM 23	0.8	8	1371.6	-	3	750
LAM 22	0.4	4	1524	-	2	820
LAM 19	0.8	8	1092.2	-	3	880
LAM 29	1.8	6	1371.6	800	1	261
LAM 16	1.8	6	1371.6	800	1	261
LAM 17	0.8	8	1092.2	-	3	900
LAM 24	0.8	8	1092.2	-	2	880

As laminadoras 29 e 16, ao contrário das restantes laminadoras, possuem uma infraestrutura que permite a rebobinagem e embalagem automática dos rolos. Esse equipamento não pode ser desalocado. Além disso, nestas laminadoras o número máximo de rolos a retirar da largura é apenas um e o raio máximo que o rolo pode atingir é significativamente inferior comparativamente ao raio máximo que o rolo pode atingir nas outras laminadoras.

Para a laminagem de cilindros de aglomerado composto ou de desperdícios de borracha existem quatro laminadoras disponíveis. A Tabela 6 apresenta as laminadoras e os limites dimensionais dos rolos para cada laminadora.

Tabela 6: Laminadoras dos cilindros de aglomerado de borracha ou de desperdícios de borracha e limites dimensionais dos rolos

	Espessura Mínima (mm)	Espessura Máxima (mm)	Largura máxima (mm)	Largura mínima (mm)	N.º máximo de rolos a retirar da largura	Raio máximo do Rolo (mm)
LAM 26	0.5	20	1574.8	-	2	1315
LAM 27	0.5	40	1574.8	36.6	4	875
LAM 27 + rebobinagem e embalagem automática	1.6	4.5	1200	800	1	300
LAM 30	0.5	20	1371.6	-	2	955
LAM 31	0.5	6	1371.6	-	2	1000

À laminadora 27 é possível alocar uma linha de rebobinagem e embalagem automática. Mas ao contrário das laminadoras 29 e 16 é possível desalocar esse equipamento e utilizar a laminadora 27 separadamente. Por esse motivo, na Tabela 6, são apresentadas essas duas hipóteses de utilização.

É possível perfilar um rolo na divisora. Contudo, caso o rolo seja perfurado, não se podem utilizar as linhas de rebobinagem e embalagem automática e há outras restrições dimensionais que os rolos têm de cumprir. A Tabela 7 indica as limitações a nível de espessura, largura e raio de um rolo perfurado.

Tabela 7: Limites dimensionais dos rolos na divisora

	Espessura Mínima (mm)	Espessura Máxima (mm)	Largura Máxima (mm)	Raio máximo do Rolo (mm)
Divisora	4 ou 5	30	1250	350

Na divisora, a espessura mínima deve ser 5 milímetros, se o aglomerado for composto e 4 milímetros, se o aglomerado for de borracha ou de desperdícios de borracha. Existem outras regras para ser possível perfilar um rolo, que serão apresentadas posteriormente.

Enquanto que nas laminadoras que laminam os cilindros resultantes da aglomeração composta é possível efetuar o corte transversal quando o rolo atinge o comprimento pretendido, nas laminadoras que laminam os cilindros resultantes da aglomeração de borracha ou de desperdícios de borracha não é possível executar essa operação. Por esse motivo, o cilindro é laminado na totalidade e depois segue para uma máquina, designada por MEI, para a inspeção, rebobinagem e corte do rolo no comprimento pretendido, se assim for necessário. Caso seja utilizada a divisora, o rolo também deve atravessar depois a MEI. Na Tabela 8 estão apresentados os limites dimensionais dos rolos para as duas MEI existentes.

Tabela 8: Limites dimensionais dos rolos nas MEI

	Espessura Mínima (mm)	Espessura Máxima (mm)	Largura Máxima (mm)	Raio máximo do Rolo (mm)
MEI 01	0.5	20	1350	1315
MEI 02	0.5	12	1070	875

Assim, conforme o tipo de aglomerado e as dimensões do rolo pode ser possível ou não a sua produção. Para isso, para cada operação, ou etapa produtiva, as dimensões do rolo não podem exceder os valores dos limites dimensionais dos rolos de pelo menos um dos equipamentos disponíveis.

4.3.2 Equipamentos utilizados para a transformação de blocos em placas

Quando um bloco sofre alguma operação de corte, o produto resultante passa a ser designado por placa. Os blocos podem ser cortados em espessura, largura e comprimento. Para a execução do corte em espessura os equipamentos disponíveis são as laminadoras de blocos e as serras. A escolha desse equipamento varia conforme as dimensões pretendidas para a placa.

A Tabela 9 apresenta as seis laminadoras disponíveis para a laminagem de blocos de aglomerado composto e os limites dimensionais das placas para cada laminadora. As laminadoras de blocos de aglomerado composto têm os mesmos limites dimensionais, entre 0,6 milímetros e 25 milímetros de espessura para as placas.

Tabela 9: Laminadoras dos blocos de aglomerado composto e limites dimensionais das placas

	Espessura Mínima (mm)	Espessura Máxima (mm)
LAM 08	0.6	25
LAM 12	0.6	25
LAM 03	0.6	25
LAM 07	0.6	25
LAM 05	0.6	25
LAM 13	0.6	25

Quando não é possível o corte em espessura de blocos de aglomerado composto nestas laminadoras, existe um outro equipamento, a serra 16, que executa essas operações. Contudo, este equipamento também possui limitações dimensionais associadas ao corte dos blocos, evidenciadas na Tabela 10.

Tabela 10: Limites dimensionais das placas na serra 16

	Espessura Mínima (mm)	Espessura Máxima (mm)	Altura Máxima (mm)	Largura Máxima (mm)	Comprimento Máximo (mm)
Serra 16	10	125	300	650	1030

O mesmo acontece com os cilindros de aglomerado de borracha ou de desperdícios de borracha. Primeiro averigua-se se é possível executar a operação de corte em espessura nas laminadoras disponíveis, ou seja, nas laminadoras 20, 21 e 28.

Tabela 11: Laminadoras dos blocos de aglomerado de borracha ou de desperdícios de borracha e limites dimensionais das placas

	Espessura Mínima (mm)	Espessura Máxima (mm)
LAM 20	0.8	25
LAM 21	0.8	25
LAM 28	0.8	25

Se os limites da placa excederem estes valores, então o corte em espessura é efetuado na serra 05.

Tabela 12: Limites dimensionais das placas na serra 05

	Largura Máxima (mm)	Comprimento Máximo (mm)	Altura Máxima (mm)
Serra 05	1400	1400	210

Quando se quer efetuar um corte lateral nos blocos de aglomerado composto, primeiro averigua-se se a retificadora consegue executar essa operação, ou seja, se os limites dimensionais da placa não excedem os valores descritos na Tabela 13.

Tabela 13: Limites dimensionais das placas na retificadora

	Largura Máxima (mm)	Largura Mínima (mm)	Comprimento Máximo (mm)	Comprimento Mínimo (mm)	Altura Máxima (mm)
Retificadora	650	482	1015	770	270

Caso não seja possível a utilização da retificadora para a obtenção da placa, existem outras duas opções. Se a espessura da placa for igual ou inferior a 90 milímetros, então pode-se usar a seccionadora, se não a operação terá de ser realizada na serra 05.

Para os blocos de aglomerado de borracha ou de desperdícios de borracha, existe apenas um equipamento disponível para executar as operações de corte em largura ou comprimento, a serra 19.

Tabela 14: Limites dimensionais das placas na serra 19

	Largura Máxima (mm)	Comprimento Máximo (mm)	Altura Máxima (mm)
Serra 19	1430	1520	340

Por fim, se as placas levarem algum tipo de acabamento, os equipamentos utilizados são as lixadoras. Para a lixagem de placas de aglomerado composto apenas dum lado são utilizadas as lixadoras 05 e 08. Para a lixagem de placas de aglomerado compostos dos dois lados são utilizadas as lixadoras 05, 08 e 16.

Tabela 15: Limites dimensionais das placas nas lixadoras 05, 08 e 16

	Espessura Máxima (mm)	Espessura Mínima (mm)
Lixadora 05	100mm	2,9mm
Lixadora 08	100mm	2,9mm
Lixadora 16	100mm	2,9mm

Para a lixagem de placas de aglomerado de borracha ou de desperdícios de borracha é utilizada a lixadora 01, independentemente da placa ser lixada de um ou de dois lados.

Tabela 16: Limites dimensionais das placas na lixadora 01

	Espessura Máxima (mm)	Espessura Mínima (mm)
Lixadora 01	150mm	3mm

Assim, conforme o tipo de aglomerado e das dimensões da placa, pode ser possível ou não a sua produção. Para isso, para cada operação, ou etapa produtiva, as dimensões da placa não podem exceder os valores dos limites dimensionais das placas de pelo menos um dos equipamentos disponíveis.

4.3.3 Equipamentos utilizados para a transformação de rolos em placas

Para os rolos de aglomerado composto existem quatro equipamentos disponíveis para a execução do corte das placas em comprimento. Caso o rolo seja laminado na laminadora 18 ou 23, é possível a utilização de mesas de corte para o corte em comprimento das placas, contudo o comprimento da placa tem de ser inferior aos limites indicados na Tabela 17.

Tabela 17: Limitações dimensionais das placas nas mesas de corte

	Comprimento máximo da placa (mm)
Mesa de corte da LAM18	3050
Mesa de corte da LAM23	1830

Além disso, existem duas shetters, que também permitem a execução do corte de rolos em placas, se as dimensões da placa estiverem dentro dos limites estabelecidos indicados na Tabela 18.

Tabela 18: Limitações dimensionais das placas nas shetters

	Espessura Mínima (mm)	Espessura Máxima (mm)	Largura Máxima (mm)	Comprimento Mínimo (mm)	Comprimento Máximo (mm)
Shetter Manual	0.8	8	1300	635	3050
Shetter Automática	1	6	2220	850	2319

Para os rolos de aglomerado de borracha ou de desperdícios de borracha existem dois equipamentos disponíveis para o corte das placas em comprimento, que são as MEI. Novamente, as dimensões das placas têm de estar dentro dos limites apresentados pela tabela seguinte.

Tabela 19: Limitações dimensionais das placas nas MEI

	Espessura Mínima (mm)	Espessura Máxima (mm)	Largura Máxima (mm)	Comprimento Máximo (mm)
MEI 01	0.5	20	1350	3020
MEI 02	0.5	12	1070	1000

Assim, conforme o tipo de aglomerado e das dimensões da placa, pode ser possível ou não a sua produção. Para isso, para cada operação, ou etapa produtiva, as dimensões da placa não podem exceder os valores dos limites dimensionais das placas de pelo menos um dos equipamentos disponíveis.

4.3.4 Equipamentos utilizados para a transformação de folhas curadas à espessura

Uma FCE pode ser transformada, ao serem executados cortes em espessura, comprimento ou largura. Para a execução dos cortes laterais os equipamentos disponíveis são o jato de água e guilhotina. Se a espessura de corte for igual ou inferior a 12 milímetros utiliza-se a guilhotina, se for superior, utiliza-se o jato de água.

Para a execução do corte em espessura pode-se utilizar laminadoras e lixadoras. Se a espessura a ser retirada for inferior a 4 milímetros, utiliza-se apenas a lixadora 1. Se a espessura a ser retirada for superior a 4 milímetros e inferior a ou igual a vinte e 5 milímetros, utiliza-se a laminadora 20, 21 ou 28, cujas limitações dimensionais estão representadas na Tabela 11. Por último, se a espessura a ser retirada for superior a 25 milímetros, então a placa deve passar por uma das laminadoras, 20, 21 ou 28, e depois na lixadora 1.

4.4 Fluxos produtivos de transformação de blocos em placas

4.4.1 Placas de aglomerado composto

Um bloco pode sofrer cortes em altura, comprimento e espessura para formar uma placa. Relativamente ao corte em espessura, se a placa não levar nenhum tipo de acabamento, a espessura do corte equivale à espessura da placa. Contudo, se a placa levar algum tipo de acabamento, primeiro tem de se determinar a espessura a ser lixada. Esse valor depende do tipo de acabamento e da espessura final da placa, representada pela letra e. Existe um conjunto de regras descritas no fluxograma da Figura 9 que determinam essa espessura a ser lixada.

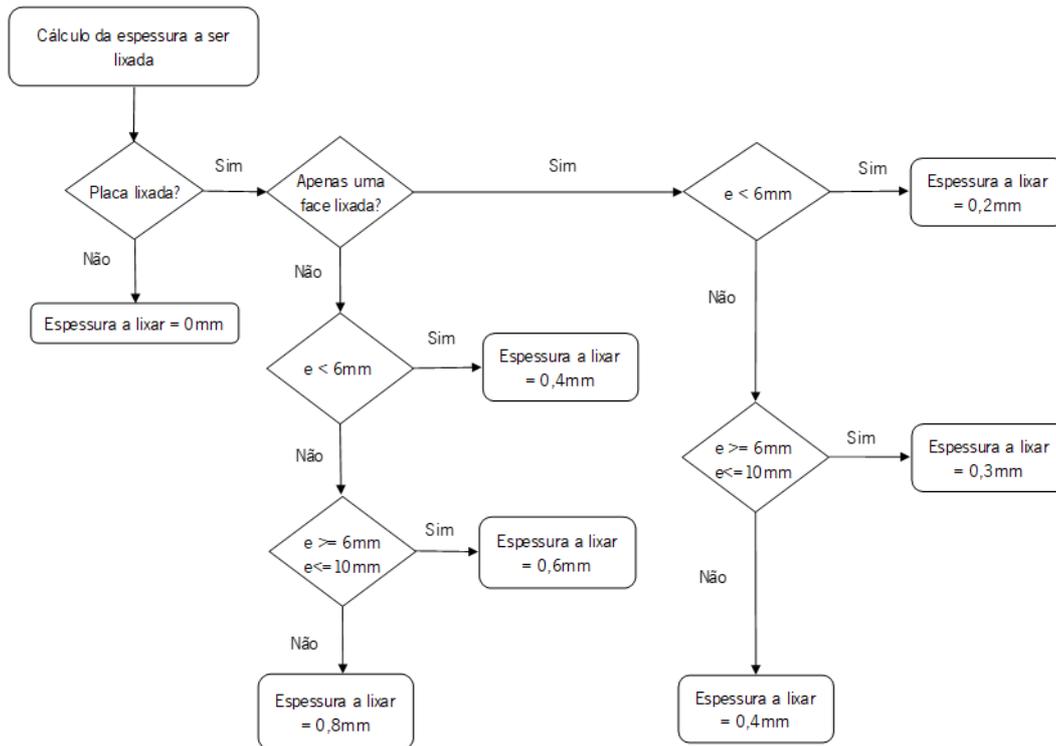


Figura 9: Cálculo da espessura a ser lixada para uma placa de aglomerado composto

Após se saber o valor da espessura a ser lixada, é possível proceder-se ao cálculo da espessura de corte. A espessura de corte corresponde à soma da espessura (e) com a espessura a ser lixada. A partir deste valor, torna-se possível então escolher o equipamento que realizará a operação de corte em altura.

Para cada referência está estabelecido um intervalo de espessuras em que é possível laminar os blocos em altura. Este intervalo de espessuras está dividido em dois: laminagem a quente e laminagem a frio. Há referências que para um intervalo de espessuras os blocos devem ser laminados a quente e para outro intervalo de espessuras os blocos devem ser laminados a frio. Assim como, há referências cujos blocos só devem ser laminados a quente ou a frio. Existem também referências cujos blocos não podem ser transformados em altura nas laminadoras, independentemente da espessura, e devem, por isso, ser transformados na serra.

Quando a espessura de corte é superior aos intervalos estabelecidos para a laminagem de um bloco numa dada referência, o bloco deve ser cortado em altura na serra. Caso se recorra à serra, há um recálculo da espessura a ser lixada e da espessura de corte.

O fluxograma representado na Figura 10 indica qual o equipamento que deve efetuar o corte em espessura no bloco, conforme as regras estabelecidas. Além disso, indica a nova espessura de lixagem e a nova espessura de corte caso o equipamento selecionado seja a serra.

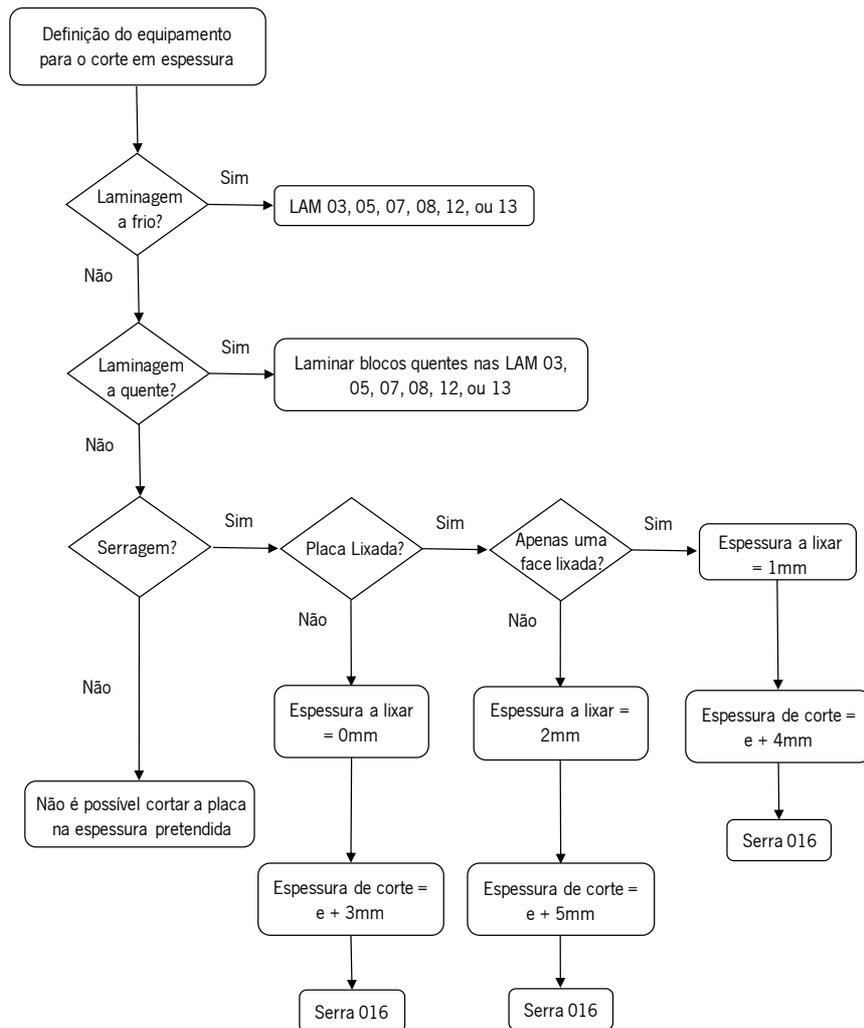


Figura 10: Equipamento que efetua o corte em espessura para uma placa de aglomerado composto

Caso se trate de uma placa com acabamento, dependendo do tipo de acabamento, lixagem numa face ou lixagem nas duas faces, são definidas as máquinas pelas quais a placa deve atravessar. Se as placas forem lixadas apenas numa face são utilizadas as lixadoras 05 e 08 e se as placas forem lixadas nas duas faces são utilizadas as lixadoras 16, 05 e 08.

Os blocos, além das transformações em altura, também podem sofrer transformações em comprimento e largura. Conforme as dimensões da placa que se quer obter, a escolha do equipamento varia, segundo as limitações técnicas de cada equipamento, como se pode ver no fluxograma da Figura 11. Primeiro averigua-se se o equipamento utilizado pode ser a retificadora, caso não possa, depois verifica-se se pode ser utilizada a seccionadora e, caso não possa, o equipamento utilizado é a serra.

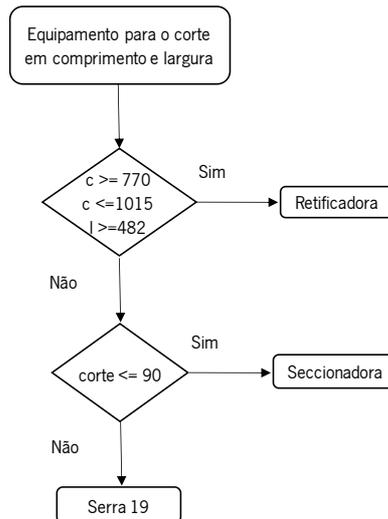


Figura 11: Equipamento que efetua os cortes laterais numa placa de aglomerado composto

Numa fase final, é definida a sequência de operações de corte. Se o equipamento utilizado para o corte em comprimento e largura for a retificadora ou a serra 19, primeiro procede-se aos cortes laterais e só depois ao corte em altura. Se o equipamento de corte em comprimento e largura for a Seccionadora, então primeiro procede-se à operação de corte em altura e só depois aos cortes laterais. A operação de lixagem é sempre realizada no final destas operações, caso seja necessário.

4.4.2 Placas de aglomerado de borracha e de desperdícios de borracha

Para os aglomerados de borracha e de desperdícios de borracha, o valor da espessura de corte também corresponde à soma da espessura final da placa, representada pela letra e , com a espessura a ser lixada. Contudo, as regras para a definição da espessura a ser lixada variam das regras vistas anteriormente. Neste caso, o tipo de acabamento determina por si só este valor. Se a placa for lixada nas duas faces, então a espessura a lixar são 0,4 milímetros, se for lixada apenas uma face, a espessura a lixar são 0,6 milímetros e, se a placa não precisar de acabamento, não existe espessura a ser lixada (Figura 12).

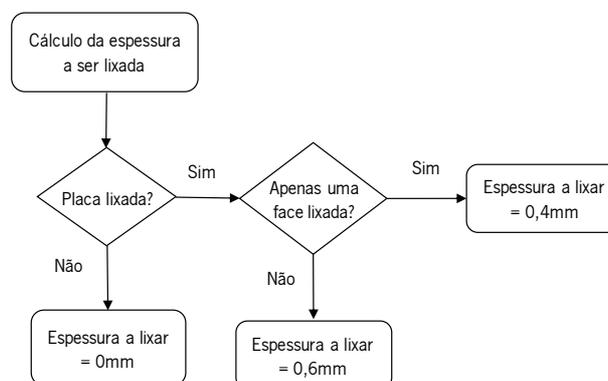


Figura 12: Cálculo da espessura a ser lixada para uma placa de aglomerado de borracha ou de desperdícios de borracha

Se o cliente quiser uma placa com acabamento, independentemente do tipo de acabamento, uma ou duas faces lixadas, o material passa sempre pela lixadora 01.

Após o cálculo da espessura de corte, é possível definir o equipamento que realizará o corte em espessura. Primeiro verifica-se se é possível laminar o bloco a frio ou a quente nas laminadoras. Se não for possível, o equipamento utilizado será a serra 05. Caso se recorra à serra 05, há novamente um recálculo da espessura a ser lixada e da espessura de corte, tal como demonstrado no fluxograma da Figura 13.

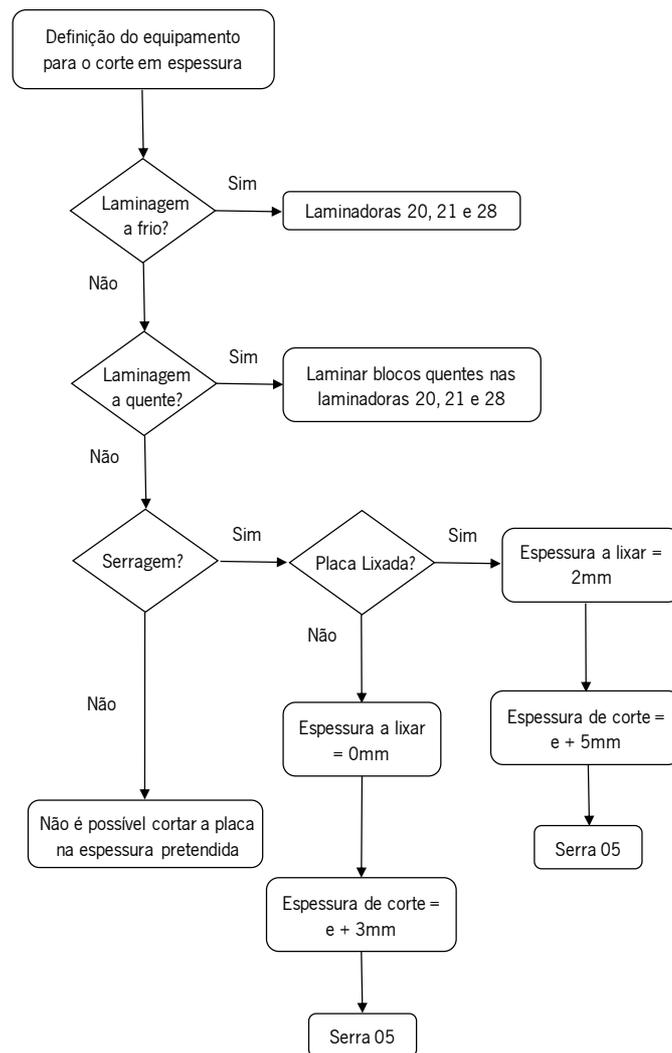


Figura 13: Definição do equipamento que efetua o corte em espessura para uma placa de aglomerado de borracha ou de desperdícios de borracha

Para os blocos de aglomerado de borracha ou de desperdícios de borracha, existe apenas um equipamento disponível para executar as operações de corte em largura ou comprimento, a serra 19.

4.5 Fluxo produtivo de transformação de cilindros em rolos

Após a aglomeração de cilindros, estes podem ser transformados em rolos através de um processo de laminagem em espessura. Conforme o tipo de aglomerado, as dimensões do rolo, as características do rolo e as limitações técnicas dos equipamentos, o cilindro pode atravessar diferentes caminhos produtivos até se transformar no rolo pretendido. Para facilitar a representação das dimensões que condicionam o caminho produtivo nos fluxogramas, atribuiu-se letras que caracterizaram as dimensões dos cilindros e rolos. Na Figura 6, está representado um cilindro com as respectivas dimensões que o caracterizam. Os cilindros formam rolos através de um processo de laminagem em espessura. Na Figura 14, está representado um rolo com as respectivas dimensões características.

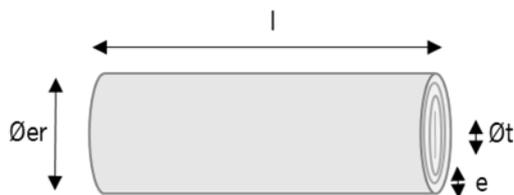


Figura 14: Representação das dimensões de um rolo

Legenda:

l: largura do rolo (mm)

e: espessura do rolo (mm)

Øt: diâmetro do tubo (mm)

Øer: diâmetro externo do rolo (mm)

O comprimento do rolo, c, pode ser calculado através da Equação 1:

$$\text{Comprimento rolo (mm)} = \pi \times \frac{\left(\frac{\text{Øer}}{2}\right)^2 - \left(\frac{\text{Øt}}{2}\right)^2}{e} = c \quad (1)$$

4.5.1 Caracterização de rolos perfilados

Caso o rolo seja perfilado, tem de cumprir com uma série de regras, devido às limitações técnicas da divisora. A divisora faz com que o rolo atravesse sucessivas pressões para assumir um formato ondulado, representado pelas linhas azuis da Figura 15, e, de seguida, sofre um corte em altura, destacado pela linha vermelha.

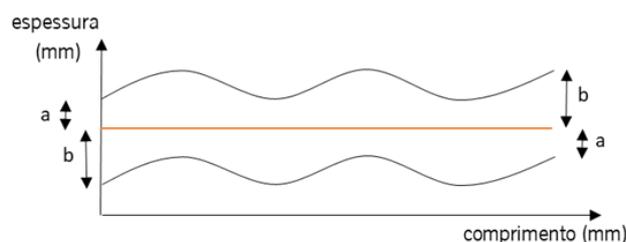


Figura 15: Perfil de um rolo perfilado

Assim sendo, desta operação resultam dois rolos. A letra a e a letra b representam, respetivamente, a espessura mais fina e a espessura mais grossa que cada rolo assume.

A espessura do rolo antes de ser perfilado corresponde à soma das espessuras a e b. Esta espessura tem de ser superior a 4 milímetros e inferior a 30 milímetros, se o aglomerado do rolo for de borracha, ou de desperdícios de borracha e superior a 5 milímetros e inferior a 30 milímetros, se o aglomerado do rolo for composto. Além disso, a dimensão a tem de ser equivalente a um terço da espessura total e a dimensão de b a dois terços da espessura total.

Além destas regras a nível de espessura, para ser possível a utilização da divisora, a largura do rolo deve ser igual ou inferior a 1250 milímetros e o diâmetro do rolo igual ou inferior a 700 milímetros, devido às limitações técnicas da divisora.

4.5.2 Caracterização de mini rolos

O que difere um mini rolo de um rolo é a ausência de um tubo a partir do qual se rebobina o material. Além disso, as dimensões do mini rolo têm de cumprir com as seguintes regras:

- O comprimento deve estar compreendido entre 8 e 20 metros;
- A largura deve estar compreendida entre 500 e 1000 milímetros;
- A espessura deve estar compreendida entre 1,8 e 2,6 milímetros;
- A multiplicação do comprimento, em metros, pela espessura, em milímetros, deve ser superior a 16 e inferior a 32.

Se as dimensões do mini rolo não estiverem dentro destes parâmetros, não é possível a obtenção do mesmo, devido às limitações técnicas dos equipamentos.

4.5.3 Rolos de aglomerado composto

As laminadoras além de laminarem o cilindro numa dada espessura, possuem lâminas longitudinais que aparam o rolo lateralmente de forma a que este assuma a largura pretendida e lâminas transversais que cortam o rolo no seu comprimento final. Conforme as dimensões do rolo, a escolha da laminadora para executar a operação de laminagem varia.

Caso o rolo seja perfilado, tem de cumprir com uma série de parâmetros já descritos anteriormente e, após essa operação, o rolo é rebobinado numa MEI. Nas MEI é feita a inspeção visual do rolo e é neste

equipamento que se realiza a operação de corte em comprimento. Cada MEI tem as suas limitações técnicas e, portanto, as dimensões do rolo têm de ser inferiores aos limites estabelecidos pelo equipamento, se não, não é possível a obtenção do rolo.

Se a largura do rolo for igual ou inferior a 150 milímetros e o diâmetro externo do rolo for igual ou inferior a 500 milímetros, os rolos são intitulados de bobines. As bobines são obtidas através de cortes transversais na serra 19 de um rolo de maiores dimensões. Primeiro é aferido se é possível a obtenção dos rolos através das linhas de rebobinagem e embalagem automática. Contudo, as dimensões dos rolos têm de estar dentro de certos valores, impostos pelas limitações técnicas do equipamento, para que isso seja possível. A Figura 16 apresenta um fluxograma que define as etapas para a obtenção de um rolo a partir de um cilindro de aglomerado composto.

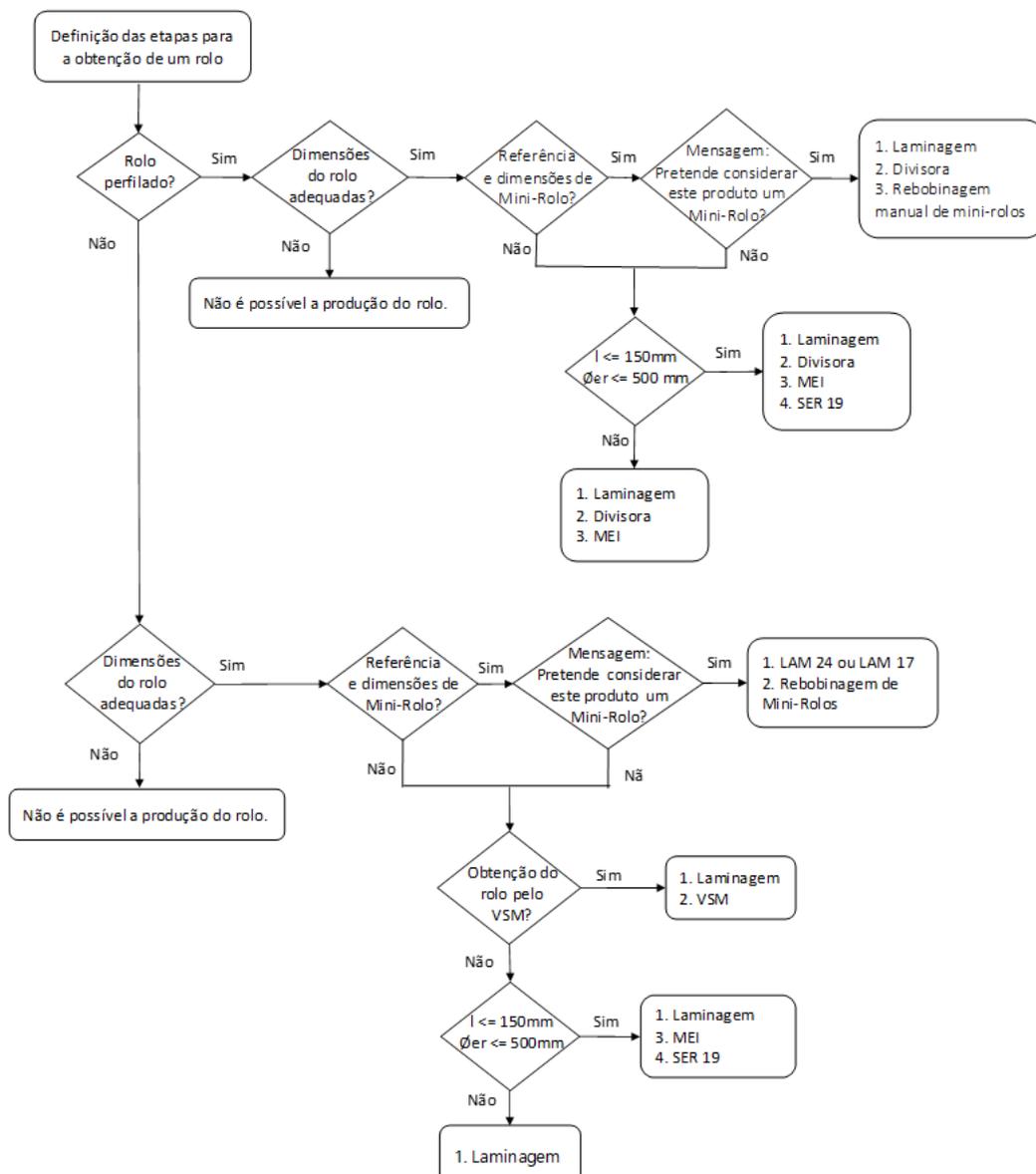


Figura 16: Definição das etapas produtivas para a obtenção de um rolo de aglomerado composto

4.5.4 Rolos de aglomerado de borracha e de desperdícios de borracha

Para a laminagem dos cilindros de aglomerado de borracha e de desperdícios de borracha em rolos, as laminadoras utilizadas são diferentes das apresentadas no subcapítulo anterior, assim como, as linhas de rebobinagem e embalagem automática e as respetivas limitações técnicas. Os restantes equipamentos utilizados são os mesmos apresentados no subcapítulo anterior. A Figura 17 apresenta um fluxograma que define as etapas produtivas para a obtenção de um rolo de aglomerado de borracha ou de desperdícios de borracha.

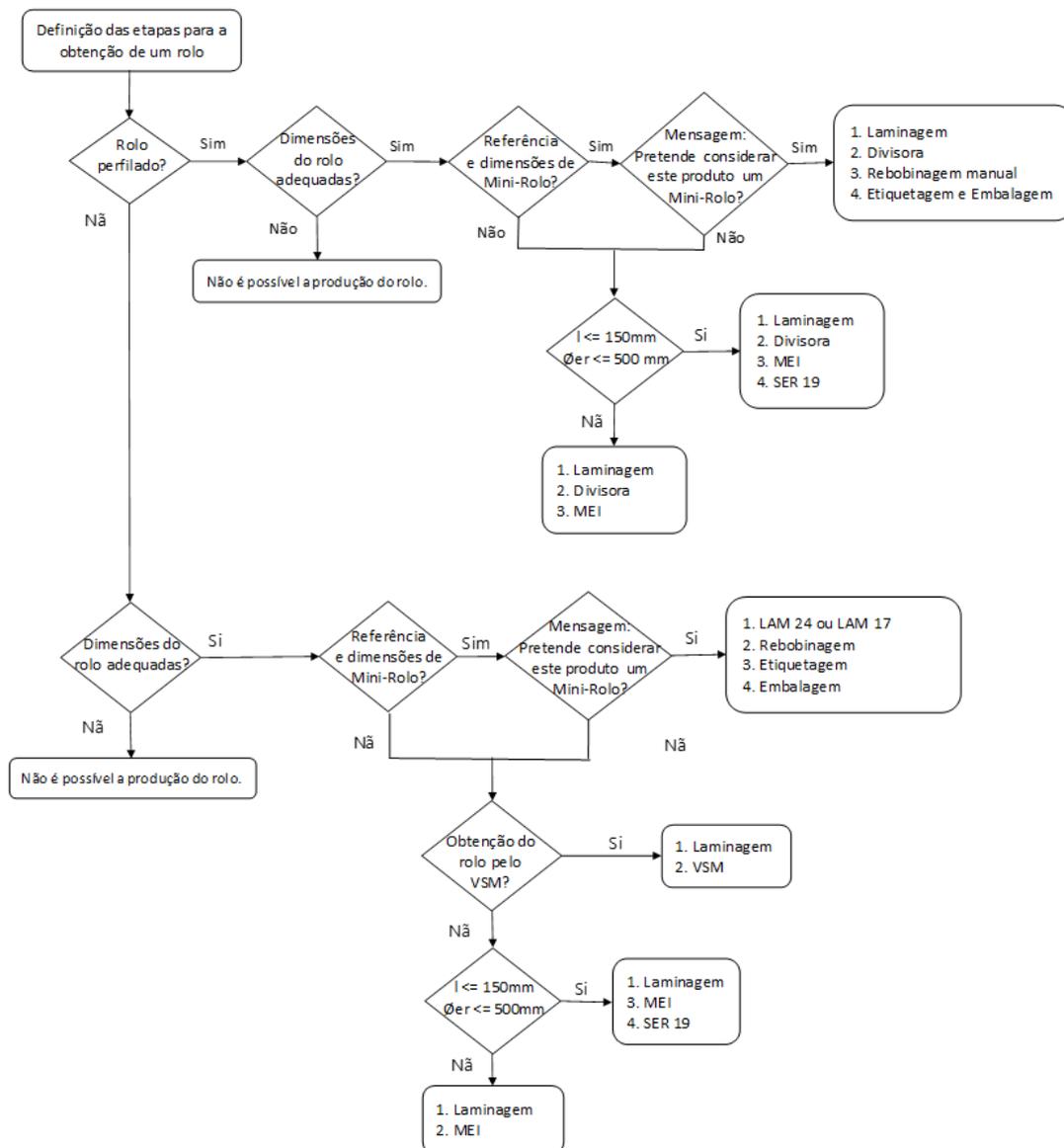


Figura 17: Etapas para a obtenção de um rolo resultante de aglomerado de borracha ou de desperdícios de borracha

4.6 Fluxo produtivo de transformação de rolos em placas

Quando se quer produzir placas, primeiro averigua-se se podem ser obtidas pela transformação de blocos, uma vez que é um processo menos dispendioso. Caso não seja possível, verifica-se se existe alguma referência alternativa que permita a aglomeração de blocos. Caso também não haja, ou caso as dimensões da placa excedam as dimensões dos moldes dos blocos, a alternativa é verificar se é possível a obtenção da placa através do corte de rolos.

Para a obtenção dos rolos, os fluxos produtivos estão descritos nos subcapítulos anteriores. Após isso, para os rolos de aglomerado composto, a shetter é o equipamento utilizado para o corte dos rolos em placas e para os rolos de aglomerado de borracha ou desperdícios de borracha, o equipamento utilizado para esse corte são as MEI.

4.7 Fluxo produtivo de transformação de folhas curadas à espessura

As FCEs podem ser transformadas através de cortes laterais ou cortes em espessura. Se a espessura a ser retirada for inferior ou igual a quatro milímetros, utiliza-se apenas a lixadora 1. Se a espessura a ser retirada for superior a quatro milímetros e inferior a ou igual a vinte e cinco milímetros, utiliza-se a laminadora 20, 21 ou 28. Por último, se a espessura a ser retirada for superior a 25 milímetros, então a FCE deve passar por uma das laminadoras, 20, 21 ou 28, e depois na lixadora 1. A Figura 18 apresenta o fluxograma para a escolha do equipamento de corte da FCE.

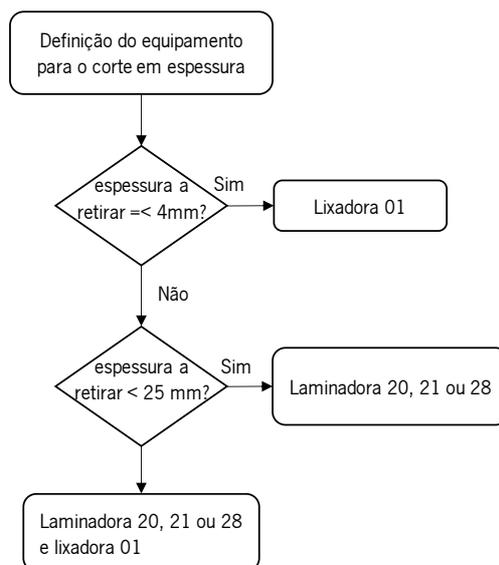


Figura 18: Equipamento de corte da FCE

Para a execução dos cortes laterais os equipamentos disponíveis são o jato de água e guilhotina. Se a espessura de corte for igual ou inferior a 12 milímetros utiliza-se a guilhotina, se for superior, utiliza-se o jato de água.

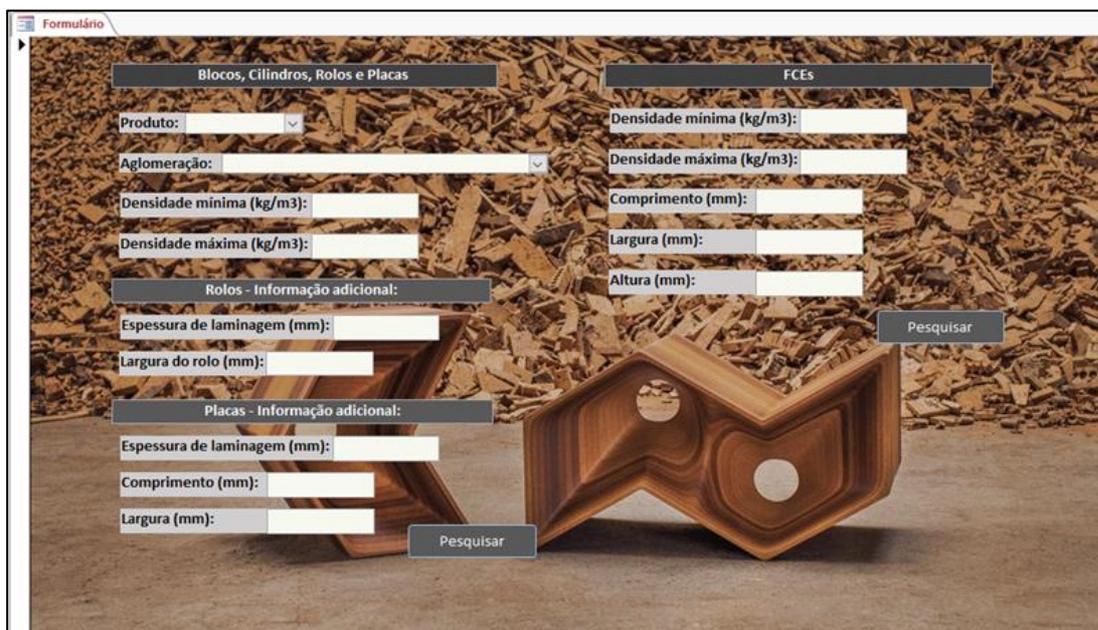
5 FERRAMENTAS DE AUTOMATIZAÇÃO DA PESQUISA DE INFORMAÇÃO

Neste capítulo apresentam-se as ferramentas de automatização da pesquisa de informação. A ferramenta de pesquisa das referências que cumprem com os requisitos, desenvolvida a partir do *Microsoft Access* e VBA, e a ferramenta de pesquisa das dimensões disponíveis ou das etapas produtivas, construída a partir do *Microsoft Excel* e VBA.

5.1 Ferramenta de pesquisa das referências que cumprem com os requisitos

A ferramenta desenvolvida em *Access* e VBA visa agilizar o processo de procura de informação. Após preenchido um formulário, o programa seleciona e apresenta uma lista de referências que cumprem com os requisitos inseridos no formulário. Os parâmetros tidos em consideração são: o tipo de produto, o tipo de aglomeração, a densidade, a espessura de laminagem e as dimensões do produto.

Para a construção de uma interface apelativa e funcional, recorreu-se à criação de um formulário no UserForms. A Figura 19 ilustra o formulário desenvolvido que serve de interface entre o programa e o utilizador:



The image shows a software interface window titled "Formulário" with a background image of wood chips and wooden blocks. The form is organized into several sections:

- Blocos, Cilindros, Rolos e Placas:** Contains a dropdown menu for "Produto:" and a dropdown menu for "Aglomeração:".
- FCEs:** Contains input fields for "Densidade mínima (kg/m3):", "Densidade máxima (kg/m3):", "Comprimento (mm):", "Largura (mm):", and "Altura (mm):".
- Rolos - Informação adicional:** Contains input fields for "Espessura de laminagem (mm):" and "Largura do rolo (mm):".
- Placas - Informação adicional:** Contains input fields for "Espessura de laminagem (mm):", "Comprimento (mm):", and "Largura (mm):".

There are two "Pesquisar" (Search) buttons: one located to the right of the "Rolos" section and another centered below the "Placas" section.

Figura 19: Menu de Interface

O utilizador deve escolher o tipo de produto em que se baseará a pesquisa. Se for um bloco, cilindro, rolo ou placa, deve ser preenchida a parte esquerda do formulário. O usuário tem de escolher o produto, o tipo de aglomerado, a densidade mínima e a densidade máxima. Caso o produto seja um rolo, há uma

secção de informação adicional, onde devem ser preenchidos os parâmetros espessura de laminagem e largura do rolo. Caso o produto seja uma placa, há também uma secção de informação adicional respetiva, onde devem ser preenchidos os parâmetros espessura de laminagem, comprimento e largura.

Se for uma FCE então deve ser preenchida a parte direita do formulário. Os parâmetros a preencher são a densidade mínima, a densidade máxima, o comprimento, a largura e a altura da FCE.

Todas as tabelas foram importadas de ficheiros em *Excel*, os quais contêm toda a base de dados criada. Além disso, estabeleceu-se ligações com esses ficheiros, para que sempre que se faça uma atualização a essa base de dados, o programa também seja atualizado.

Nas consultas foram estabelecidas todas as restrições com expressões lógicas que permitem a seleção e apresentação apenas das referências que cumprem com os requisitos inseridos no formulário.

Procedeu-se à criação de catorze consultas diferentes:

Tabela 20: Consultas

Nome Consulta	Descrição
Blocos_AglBorracha	Consulta de Blocos de Aglomerado de Borracha
Blocos_AglComp_AglDespBor	Consulta de Blocos de Aglomerado Composto e Aglomerado de Desperdícios de Borracha
Cilindros_AglBorracha	Consulta de Cilindros de Aglomerado de Borracha
Cilindros_AglComposto	Consulta de Cilindros de Aglomerado Composto
Cilindros_AglDespBorracha	Consulta de Cilindros de Aglomerado de Desperdícios de Borracha
FCEs	Consulta de Folhas Curadas à Espessura
PlacasBL_AglBorracha	Consulta de Placas obtidas por Blocos de Aglomerado de Borracha
PlacasBL_AglComp_AglDespBor	Consulta de Placas obtidas por Blocos de Aglomerado Composto e Aglomerado de Desperdícios de Borracha
PlacasRL_AglBorracha	Consulta de Placas obtidas por Rolos de Aglomerado de Borracha
PlacasRL_AglComposto	Consulta de Placas obtidas por Rolos de Aglomerado Composto
PlacasRL_AglDespBorracha	Consulta de Placas obtidas por Rolos de Aglomerado de Desperdícios de Borracha
Rolos_AglBorracha	Consulta de Rolos de Aglomerado de Borracha
Rolos_AglComposto	Consulta de Rolos de Aglomerado Composto
Rolos_AglDespBorracha	Consulta de Rolos de Aglomerado de Desperdício de Borracha

Conforme o preenchimento do formulário e o botão selecionado para a pesquisa da informação, a consulta apresentada varia. De forma a ser possível este procedimento, recorreu-se à escrita de código em VBA.

Caso seja selecionado o botão de pesquisa referente às FCEs o código verifica se há algum campo por preencher. Caso não haja nenhum campo por preencher, a consulta FCEs é aberta.

Caso seja selecionado o outro botão de pesquisa, da parte esquerda, referente aos outros produtos, nomeadamente, blocos, cilindros, rolos ou placas, o código verifica se todos os parâmetros estão preenchidos e caso o produto seja um rolo ou uma placa, verifica também se os parâmetros da informação adicional estão preenchidos.

Caso todos os parâmetros estejam preenchidos, a consulta apresentada varia conforme o tipo de produto e do tipo de aglomerado selecionados. No caso de o produto ser uma placa, o programa verifica primeiro se existem referências de blocos que cumprem com os requisitos. Se houver, a consulta com referências que permitem a aglomeração de blocos é aberta conforme o tipo de aglomeração. Se não houver, o programa abre a consulta com referências que permitem a aglomeração de cilindros no tipo de aglomeração selecionado.

5.2 Ferramenta de pesquisa das dimensões disponíveis ou das etapas produtivas

Para a construção da ferramenta desenvolveram-se interfaces que fazem a ponte da informação inserida pelo utilizador com o programa, para serem apresentados os dados solicitados. Estas interfaces foram criadas no *UserForms* do VBA.

O utilizador pode pesquisar as dimensões disponíveis de moldes para a aglomeração de cilindros e blocos para uma dada referência e pode também averiguar se um dado produto, placa, rolo FCE, pode ser produzido e, caso possa, indica as etapas produtivas para a obtenção desse mesmo produto.

5.2.1 Menu principal

No menu principal, o utilizador pode efetuar pesquisas, eliminar ou adicionar referências à base de dados e aceder às folhas de cálculos, onde está localizada a base de dados e onde são efetuados cálculos auxiliares. Existem quatro botões que realizam estas quatro tarefas. A Figura 20 apresenta o menu principal.

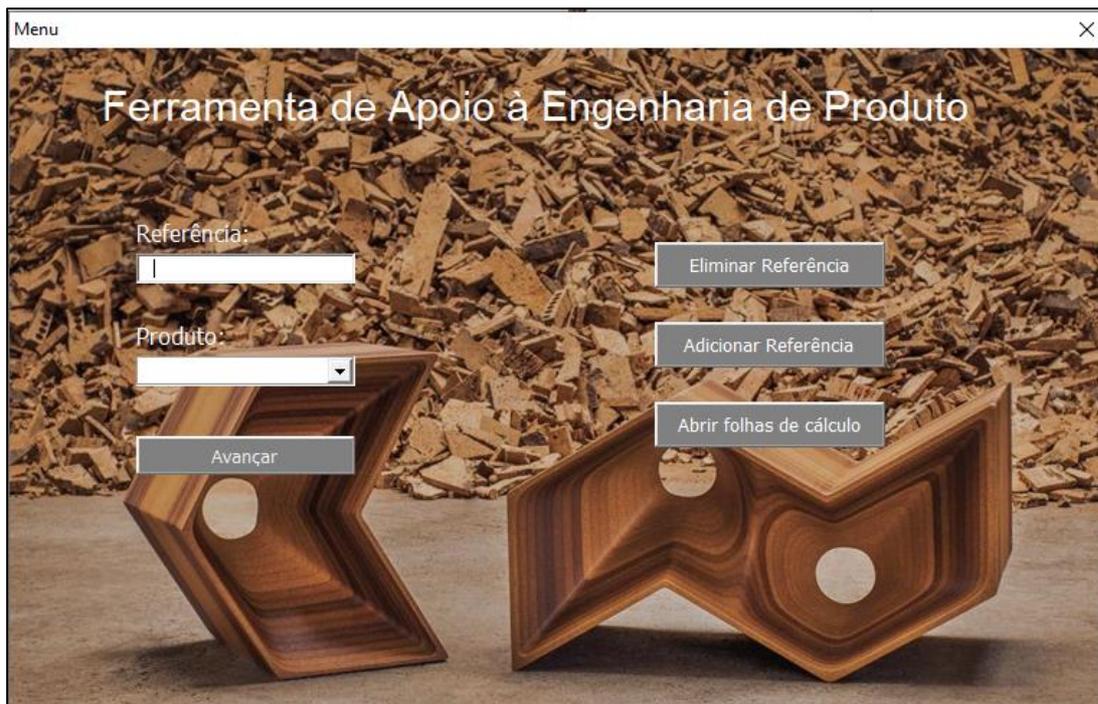


Figura 20: Menu principal da ferramenta

Caso o utilizador pretenda efetuar uma pesquisa deve inserir o código da referência e selecionar um dos cinco produtos: bloco, cilindro, rolo, placa ou FCE. Após clicar no botão Avançar, o programa averigua se a referência inserida está de facto presente na base de dados. De seguida, ou abre-se um novo formulário, ou é apresentada a informação solicitada, conforme o tipo de produto selecionado.

Se o utilizador pretender fazer alguma alteração à ferramenta ou aceder às tabelas da base de dados, deve clicar no botão Abrir Folhas de Cálculo.

Se o utilizador pretender eliminar uma referência da base de dados deve inserir o código da referência e clicar no botão Eliminar Referência. Ao clicar neste botão é enviada uma mensagem ao utilizador para que este confirme a execução desta ação. Caso o utilizador queira efetivamente remover a referência da base de dados, então em todas as tabelas da base de dados são removidos os registos da referência.

Por fim, caso o utilizador quiser adicionar uma referência à base de dados deve clicar no botão Adicionar Referência e um novo formulário surge, o qual deve ser preenchido com os dados das características da nova referência.

5.2.2 Adicionar referência

Quando o utilizador clica no botão Adicionar Referência, abre-se então um novo formulário, representado na Figura 21. Neste formulário, o utilizador deve inserir o código da nova referência e o tipo de

aglomerado. Além disso, conforme os produtos que podem ser aglomerados na referência, devem ser preenchidas as secções respetivas. Cada secção tem um conjunto de campos, nomeadamente as dimensões dos moldes em que se pode aglomerar a referência, a densidade e para os blocos e cilindros as espessuras mínimas e máximas de laminagem a quente e a frio.

Adicionar Referência

Figura 21: Registo das Características de uma Nova Referência

Numa primeira fase o programa verifica se todos os campos necessários para o registo estão preenchidos e, só depois, estes dados são adicionados às tabelas da base de dados.

5.2.3 Moldes disponíveis para aglomeração de blocos

Se o utilizador quiser saber quais os moldes disponíveis para a aglomeração de um bloco numa dada referência, apenas tem de preencher os campos do menu e clicar no botão Avançar. Após isso, a ferramenta apresenta a lista de dimensões de moldes disponíveis.

Por exemplo, na referência 8003 é possível a aglomeração de blocos nos moldes BL1, BL2, BL3I e BL3M, como se pode visualizar na Figura 22.



Figura 22: Menu blocos

Se o utilizador pretender saber quais os moldes disponíveis para a aglomeração de um cilindro para uma dada referência, deve preencher os campos do menu e clicar no botão Avançar.

A ferramenta apresenta então uma lista de diâmetros disponíveis. Por exemplo, para a referência 8245, as categorias de cilindros disponíveis são os Cilindros CNM, com 1100 milímetros de diâmetro, e os Cilindros DS, com 39 polegadas de diâmetro, como se pode ver na Figura 23.



Figura 23: Menu cilindros

O utilizador deve então escolher o diâmetro/categoria do cilindro e clicar no botão Avançar. O programa passa a apresentar a lista de alturas disponíveis para a aglomeração do cilindro.

Para a referência 8245, um cilindro da categoria CNM tem como alturas disponíveis, para se proceder à aglomeração, as representadas na Figura 24.

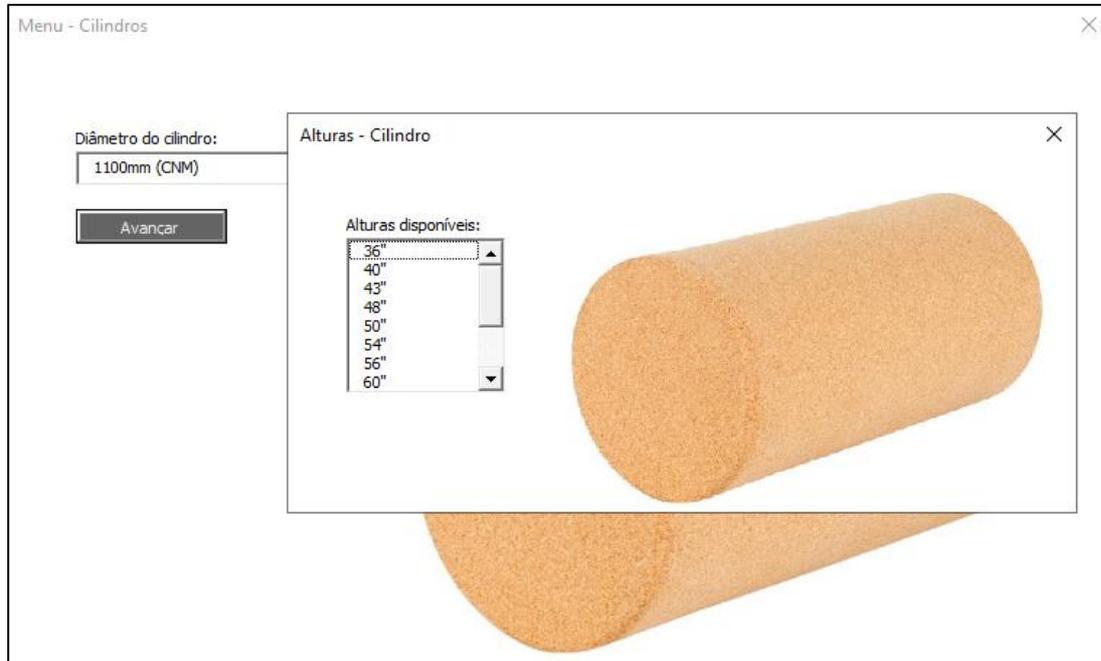


Figura 24: Menu Cilindros Alturas

5.2.4 Rolos perfilados

Quando se pretende fazer uma pesquisa de informação para se saber se um dado rolo pode ser produzido e, caso possa, quais as etapas produtivas, o utilizador deve inserir o código da referência e escolher o produto rolo no menu.

Se não for possível a aglomeração de cilindros na referência escolhida, o programa emite uma mensagem de aviso. Se for possível a aglomeração de cilindros na referência escolhida, o programa emite uma mensagem para que o utilizador indique se o rolo é perfilado ou não perfilado, como se pode ver na Figura 25.

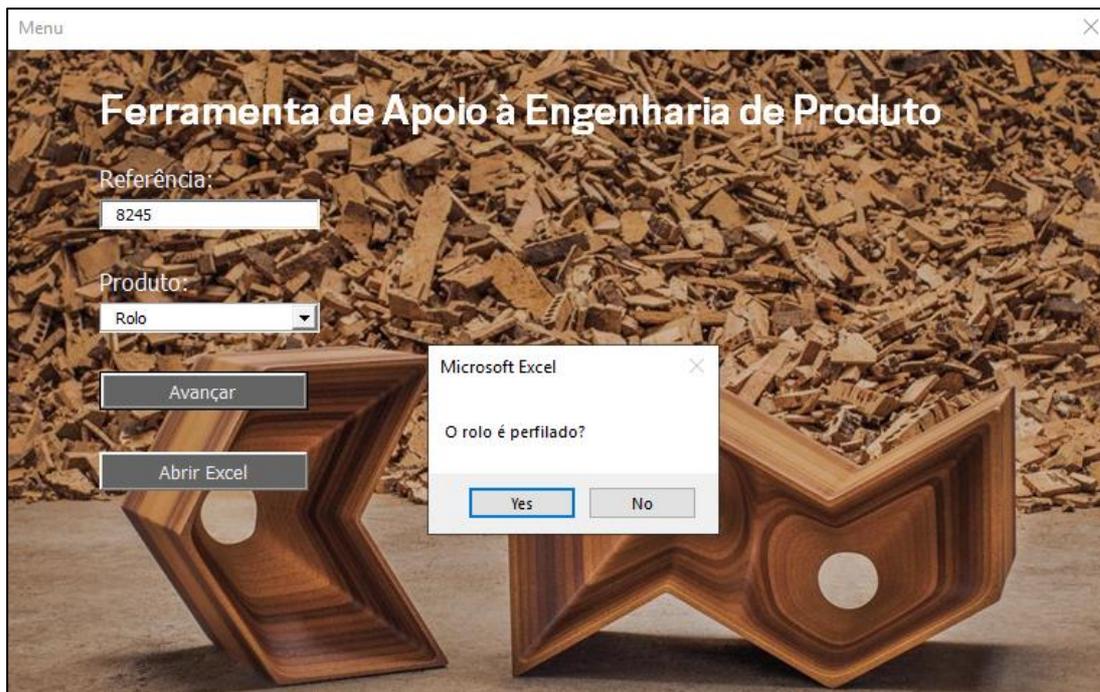


Figura 25: Identificação do tipo de rolo

Caso se selecione a opção sim, que o rolo é perfilado, a ferramenta abre um novo formulário, tal como apresentado na Figura 26. Neste novo formulário, o utilizador deve seleccionar as dimensões do tubo, assim como, o comprimento, a largura, a espessura menor e a espessura maior do rolo perfilado.

Figura 26: Menu Rolos Perfilados

Quando o utilizador clica no botão Avançar, o programa verifica se todos os campos estão preenchidos e se as dimensões do rolo estão dentro dos limites impostos pelas limitações técnicas dos equipamentos. Ou seja, confirma se a soma da espessura maior com a espessura menor está dentro dos limites de laminagem do cilindro para a referência escolhida, se a largura do rolo não excede os limites mínimos e máximos possíveis, se o comprimento do rolo não excede os limites mínimos e máximos possíveis e se as regras referentes aos rolos perfilados são cumpridas.

Além disso, verifica se com a referência e dimensões escolhidas para o rolo é possível a produção de mini rolos. Caso seja possível, o programa avisa o utilizador e pergunta se quer que o programa assuma o produto como um mini rolo.

Se o rolo estiver dentro dos limites dimensionais, o programa apresenta as respetivas propriedades e etapas produtivas. Se não estiver dentro dos limites dimensionais, o programa emite uma mensagem de aviso a indicar a dimensão que ultrapassa o limite.

Por exemplo, para a referência 1235, é possível a produção de um rolo perfilado de 10 metros de comprimento, 1000 milímetros de largura, 1,7 milímetros de espessura menor e 3,3 milímetros de espessura maior. Como se pode ver na Figura 27, o programa apresenta as propriedades e etapas produtivas deste rolo perfilado.

Rolo Perfilado								
Referência:	1235							
Comprimento (m):	10							
Largura (mm):	1000							
Espessura menor (mm):	1.7							
Espessura maior (mm):	3.3							
Legenda:	<div style="background-color: #d9ead3; border: 1px solid #d9ead3; padding: 2px; display: inline-block;">Cilindro que se produz em maior quantidade</div> <div style="background-color: #d9ead3; border: 1px solid #d9ead3; padding: 2px; display: inline-block;">Menor desperdício</div>							
Cilindro	Emenda para aumentar o comprimento	Quantidade máxima de rolos a retirar da largura total do rolo	Laminagem de cilindros a quente ou frio	Desperdício para um rolo (mm ³)	1ªEtapa	2ªEtapa	3ªEtapa	4ªEtapa
D30-43"	não	1	Laminagem a frio	4610000	LAM26; LAM27; LAM31;	Divisora	MEI01; MEI02;	-
D30-49"	não	1	Laminagem a frio	12230000	LAM26; LAM27; LAM31;	Divisora	MEI01; MEI02;	-
D30-54"	não	1	Laminagem a frio	18580000	LAM26; LAM27; LAM31;	Divisora	MEI01; MEI02;	-

Figura 27 : Propriedades e Etapas Produtivas de um Rolo Perfilado

Na primeira coluna são apresentados os cilindros a partir dos quais é possível proceder-se à transformação para a obtenção do rolo pretendido, na segunda, terceira e quarta colunas são apresentadas as características do processo de laminagem, nomeadamente, se são necessárias emendas para aumentar o comprimento do rolo, a quantidade máxima de rolos a retirar da largura total do rolo e se a laminagem deve ser feita a quente ou a frio. Ademais, na quinta coluna também é indicado o desperdício associado à utilização de cada um dos cilindros. Nas últimas colunas estão indicadas as

etapas produtivas, através da indicação dos equipamentos a serem utilizados. Numa primeira fase, o cilindro deve ser laminado na laminadora 26, 27, ou 31, de seguida, deve passar pela divisora e, para concluir, o rolo deve ser rebobinado na MEI 01 ou na MEI 02 para a obtenção do comprimento final.

O destaque a cinzento indica qual o cilindro mais aglomerado nos últimos três anos pela empresa e o destaque a verde indica qual a opção de cilindro que acarreta menos desperdício. Neste caso, o cilindro que deve ser utilizado para a obtenção do rolo é o D30 – 43”, por ser o que acarreta menos desperdício e por ter sido o mais aglomerado nos últimos três anos.

Caso o rolo não seja perfilado, a ferramenta abre um novo formulário, tal como apresentado na Figura 28. Neste novo formulário, o utilizador deve seleccionar as dimensões do tubo, assim como, o comprimento, a largura e a espessura do rolo.

Figura 28: Menu dos rolos não perfilados

Quando o utilizador clica no botão Avançar, novamente, o programa verifica se todos os campos estão preenchidos e se as dimensões do rolo estão dentro dos limites impostos pelas limitações técnicas dos equipamentos. Assim, confirma se a espessura está dentro dos limites de laminagem do cilindro para a referência escolhida; averigua se a largura do rolo não excede o limite máximo possível; averigua se o comprimento do rolo não excede o limite máximo possível;

Além disso, verifica se com a referência e dimensões escolhidas para o rolo é possível a produção de mini rolos. Caso seja possível, o programa avisa o utilizador e pergunta se quer que o programa assuma o rolo como um mini rolo.

Se o rolo estiver dentro dos limites dimensionais, o programa apresenta as respetivas propriedades e etapas produtivas. Se não estiver dentro dos limites dimensionais, o programa emite uma mensagem de aviso a indicar a dimensão que ultrapassa o limite.

Por exemplo, para a referência 1235, é possível a produção de um rolo perfilado de 10 m de comprimento, 1000 milímetros de largura e 2 milímetros de espessura. Como se pode ver na Figura 29, o programa apresenta as propriedades e etapas produtivas deste rolo perfilado.

Referência: 1235
 Comprimento (m): 10
 Largura (mm): 1000
 Espessura (mm): 2

Legenda:
 Cilindro que se produz em maior quantidade
 Menor desperdício

Cilindro	Emenda para aumentar o comprimento	Quantidade máxima de rolos a retirar da largura total do rolo	Laminação de cilindros a quente ou frio	Desperdício para um rolo (mm ³)	1ªEtapa	2ªEtapa	3ªEtapa	4ªEtapa
D30-43"	não	1	Laminação a frio	1844000	LAM26	VSM	-	-
D30-49"	não	1	Laminação a frio	4892000	LAM26	VSM	-	-
D30-54"	não	1	Laminação a frio	7432000	LAM26	VSM	-	-

Figura 29: Propriedades e Etapas Produtivas de um Rolo Não Perfilado

Neste exemplo, para a obtenção do rolo pretendido o cilindro utilizado pode ser o D30 – 43”, o D30 – 49” ou o D30 – 54”. Sendo que, o que acarreta menos desperdício e o mais aglomerado nos últimos três anos foi o D30 – 43”. O cilindro deve ser laminado na laminadora 26 para depois ser rebobinado e embalado diretamente nas linhas de rebobinagem e embalagem automática.

5.2.5 Placas

Quando se pretende fazer uma pesquisa de informação para se saber se uma placa pode ser produzida e, caso possa, as propriedades e etapas produtivas respetivas, o utilizador deve inserir o código da referência e escolher o produto placa no menu.

Se não for possível a aglomeração de cilindros nem blocos na referência escolhida, o programa emite uma mensagem de aviso de que não é possível a obtenção de placas na referência escolhida. Se for possível a aglomeração de cilindros e/ou blocos na referência escolhida, o programa emite uma mensagem para que o utilizador indique se a placa é perfilada ou não perfilada.

Se o utilizador pretender uma placa perfilada e não for possível a aglomeração de cilindros na referência escolhida, o programa avisa o utilizador de que não é possível a produção da placa pretendida. Se o utilizador pretender uma placa perfilada e for possível a aglomeração de cilindros na referência escolhida, o programa abre o formulário representado na Figura 30.

Neste formulário, o utilizador indica o comprimento, a largura, a espessura menor e a espessura maior da placa perfilada.

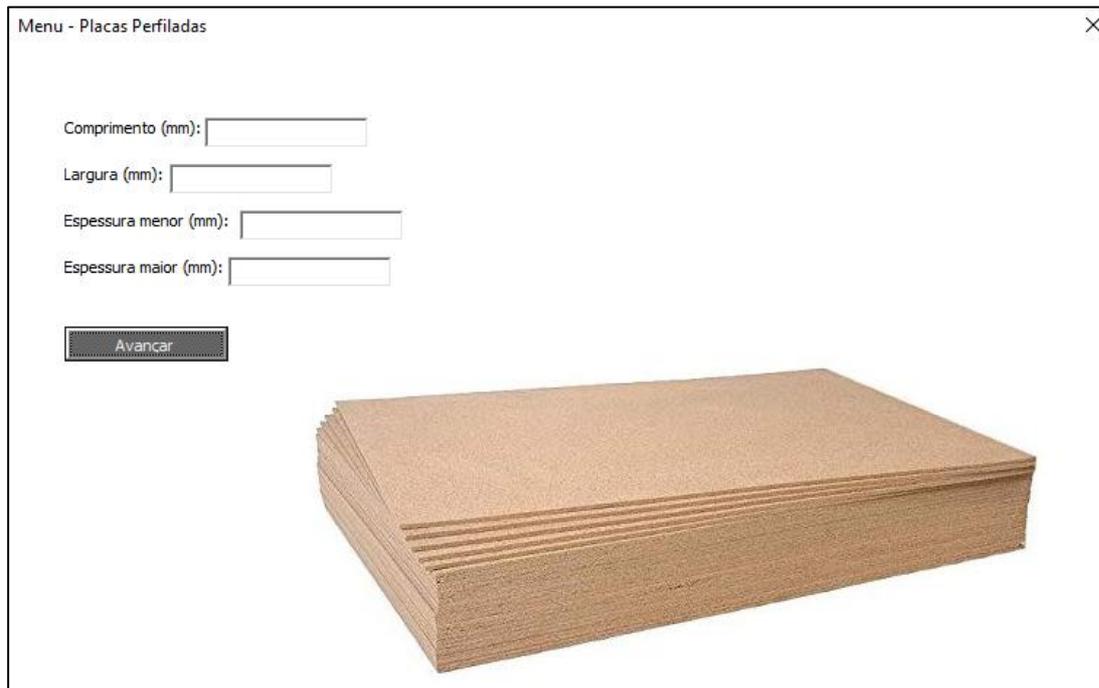


Figura 30: Menu das placas perfiladas

Quando o utilizador clica no botão Avançar, o programa verifica se todos os campos estão preenchidos e se as dimensões da placa estão dentro dos limites impostos pelas limitações técnicas dos equipamentos. Assim, confirma se a soma da espessura maior com a espessura menor está dentro dos limites de laminagem do cilindro para a referência escolhida, se a largura da placa não excede o limite máximo ou mínimo possíveis e se as regras inerentes aos rolos perfilados são cumpridas.

Se a placa perfilada estiver dentro dos limites dimensionais, o programa apresenta as respetivas propriedades e etapas produtivas. Se não estiver dentro dos limites dimensionais, o programa emite uma mensagem de aviso a indicar a dimensão que ultrapassa o limite.

Por exemplo, para a referência 1235, é possível a produção de uma placa perfilada de 900 milímetros de comprimento, 600 milímetros de largura, e 2 milímetros de espessura menor e 4 milímetros de

espessura maior. Como se pode ver na Figura 31, o programa apresenta as propriedades e etapas produtivas desta placa perfilada.

Placa Perfilada								
Referência:	1235							
Comprimento (mm):	900							
Largura (mm):	600							
Espessura menor (mm):	2							
Espessura maior (mm):	4							
Retornar ao Menu								
Legenda:								
 Bloco/Cilindro que se produz em maior quantidade Menor desperdício								
DiâmetroCIL	AlturaCIL	N.º de rolos a laminar de cada vez para um menor desperdício lateral	Largura do rolo (mm)	Comprimento (mm)	Desperdício na obtenção de uma placa (mm ³)	1ª Etapa	2ª Etapa	3ª Etapa
D30	43"	1	900	600	691920	LAM26; LAM27; LAM31;	Divisora	MEI01; MEI02
D30	49"	2	600	900	240840	LAM26; LAM27; LAM31;	Divisora	MEI01; MEI02
D30	54"	2	600	900	926640	LAM26; LAM27; LAM31;	Divisora	MEI01; MEI02

Figura 31: Propriedades e Etapas Produtivas de uma Placa Perfilada

Neste exemplo, para a obtenção da placa perfilada pretendida o cilindro utilizado pode ser o D30 - 43'', o D30 - 49'', ou o D30 - 54''. O que acarreta menos desperdício é o D30 - 49'' e o mais utilizado nos últimos três anos foi o D30 - 43''. Primeiro o cilindro deve ser laminado na laminadora 26, 27, ou 31, depois deve ser perfilado na divisora e, por fim, rebobinado e embalado na MEI 01, ou na MEI 02.

Caso a placa não seja perfilada, a ferramenta abre um novo formulário, tal como apresentado na Figura 32: Menu das placas não perfiladas. Neste novo formulário, o utilizador indica o comprimento, a largura e a espessura menor da placa.

Menu - Placas Não Perfiladas ✕

Comprimento (mm):

Largura (mm):

Lixagem: ▼

Espessura (mm):



Figura 32: Menu das placas não perfiladas

Como já foi mencionado anteriormente, o programa primeiro averigua se é possível a obtenção da placa pela transformação de blocos, uma vez que é um processo menos dispendioso, a partir da referência escolhida, ou a partir de uma referência alternativa. Caso as dimensões da placa excedam as dimensões dos moldes dos blocos, ou a referência não permita a aglomeração de cilindros, nem uma referência alternativa, então a placa só poderá ser obtida pela transformação de cilindros em rolos, e os rolos nas placas.

O programa verifica se todos os campos estão preenchidos e se as dimensões da placa estão dentro dos limites impostos pelas limitações técnicas dos equipamentos.

Se a placa estiver dentro dos limites dimensionais, o programa apresenta as respetivas propriedades e etapas produtivas. Se não estiver dentro dos limites dimensionais, o programa emite uma mensagem de aviso a indicar a dimensão que ultrapassa o limite.

Por exemplo, para a referência 8006, é possível a produção de uma placa de 900 milímetros de comprimento, 600 milímetros de largura, 10 milímetros de espessura e acabamento 02, ou seja, lixagem só de uma face. Como se pode ver na Figura 33, o programa apresenta as propriedades e as etapas produtivas desta placa.

Placa Não Perfilada
Retornar ao Menu

Referência: 8006
 Comprimento (mm): 900
 Largura (mm): 600
 Espessura (mm): 10
 Lixagem: 02

Legenda:
 Bloco/Cilindro que se produz em maior quantidade
 Menor desperdício

Bloco	Nº Peças	Quantidade mínima de encomenda	Desperdício (m3)	1ª Etapa:	2ª Etapa:	3ª Etapa:
				Retificadora	LAM 03, 05, 07, 08, 12, ou 13 (CNM)	LIX 05 e LIX 08
BL1- 940x640x250mm	1	23	23192000	Corte em comprimento = 900mm Corte em largura = 600mm	Laminar 10,3 mm de espessura	Lixar 0,3 mm de espessura
BL2- 950x650x200mm	1	18	20125000	Corte em comprimento = 900mm Corte em largura = 600mm	Laminar 10,3 mm de espessura	Lixar 0,3 mm de espessura
BL3Ingles - 950x650x210mm	1	19	20900000	Corte em comprimento = 900mm Corte em largura = 600mm	Laminar 10,3 mm de espessura	Lixar 0,3 mm de espessura

Figura 33: Propriedades e Etapas Produtivas de uma Placa

Neste exemplo, para a obtenção da placa pretendida os blocos utilizados podem ser o BL1, BL2 ou o BL3I. O que acarreta menos desperdício é o BL2 e o que se produz em maior quantidade é o BL1. A tabela indica também o número de placas que se consegue extrair de cada tipo de bloco. Numa primeira fase, o cilindro deve ser cortado em comprimento e largura na retificadora. De seguida, laminado 10,3

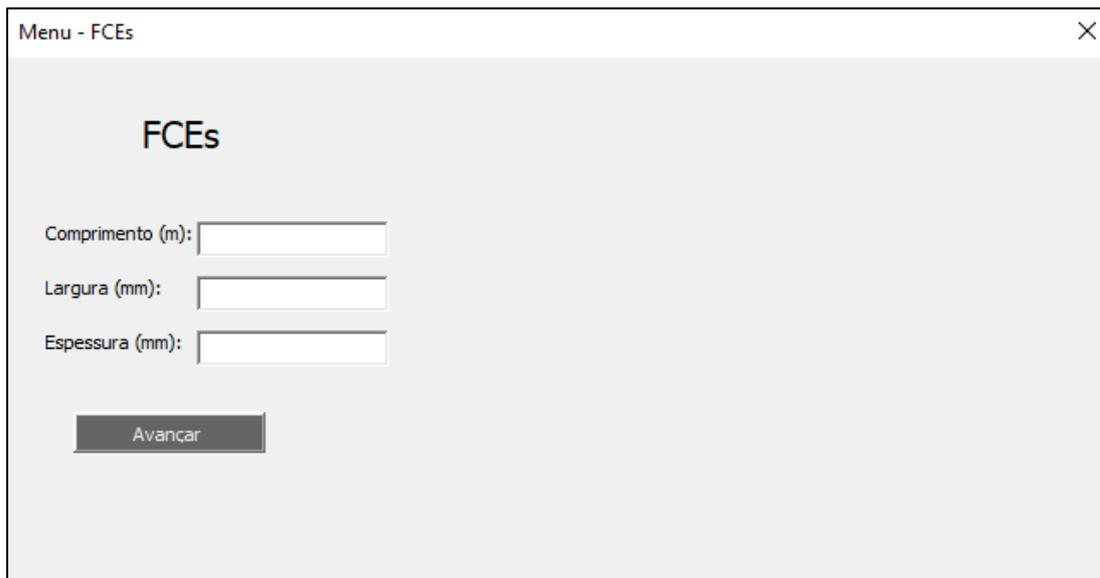
milímetros em espessura e, por fim, lixado em 0,3 milímetros de espessura para a obtenção da placa de 10 milímetros de espessura, lixada apenas numa das faces.

5.2.6 Folha curada à espessura

Quando se pretende fazer uma pesquisa de informação para se saber se uma FCE pode ser produzida e, caso possa, as propriedades e etapas produtivas respetivas, o utilizador deve inserir o código da referência e escolher o produto FCE no menu.

Se não for possível a aglomeração de FCE na referência escolhida, o programa emite uma mensagem de aviso de que não é possível a obtenção de FCEs na referência escolhida. Se for possível a aglomeração de FCE na referência escolhida, o programa abre o formulário, apresentado na Figura 34.

Neste formulário, o utilizador deve indicar o comprimento, a largura e a espessura da FCE.



The image shows a software dialog box titled "Menu - FCEs". Inside the dialog, the word "FCEs" is displayed in a large font. Below this, there are three input fields: "Comprimento (m):", "Largura (mm):", and "Espessura (mm):". Each field is followed by a small rectangular input box. At the bottom of the dialog, there is a button labeled "Avancar". The dialog has a standard window border with a close button (X) in the top right corner.

Figura 34: Menu das FCEs

O programa verifica se todos os campos estão preenchidos e se as dimensões da FCE estão dentro dos limites impostos pelas limitações técnicas dos equipamentos.

Se a FCE estiver dentro dos limites dimensionais, o programa apresenta as respetivas propriedades e etapas produtivas. Se não estiver dentro dos limites dimensionais, o programa emite uma mensagem de aviso.

Por exemplo, para a referência 1047, é possível a produção de uma FCE de 1000 milímetros de comprimento, 800 milímetros de largura e 5 milímetros de espessura. Como se pode ver na Figura 35, o programa apresenta as propriedades e as etapas produtivas desta FCE.

FCE				
Referência: 1047				
Comprimento (mm): 1000				
Largura (mm): 800				
Espessura (mm): 5				
Retornar ao Menu				
FCEs	Desperdício (mm ³)	Corte em espessura (mm)	Corte em largura (mm)	Corte em comprimento (mm)
1200x1200x13,5mm	15440000	LAM 020, LAM 021, ou LAM 028	Jato de água	Jato de água
1200x1200x14,5mm	16880000	LAM 020, LAM 021, ou LAM 028	Jato de água	Jato de água

Figura 35: Propriedades e Etapas Produtivas de uma FCE

A FCE utilizada pode ser a de dimensões 1200x1200x13,5mm ou a de 1200x1200x14,5mm. A que acarreta menos desperdício é a primeira. Para se proceder ao corte em espessura, a FCE deve ser laminada na laminadora 30, 21 ou 28 e para o corte em comprimento e largura deve ser utilizado o jato de água.

5.3 Impacto das ferramentas de automatização da pesquisa de informação

Os membros da equipa de engenharia do produto mediram o tempo que despendiam na pesquisa de referências que cumpriam com certos requisitos e na pesquisa de dimensões disponíveis ou etapas produtivas para um dado produto. Primeiro sem a utilização das ferramentas de automatização da pesquisa e depois com a utilização das ferramentas.

O tempo médio por pesquisa sem a utilização das ferramentas é 12 minutos e 40 segundos e o tempo médio por pesquisa com a utilização das ferramentas é 1 minuto. Assim, pode-se constatar que houve uma redução significativa de 92% do tempo médio efetuado por pesquisa. Desta forma, menos tempo dos recursos humanos é despendido na recolha, gestão e seleção da informação.

Além disso, os problemas de dispersão de informação nos vários ficheiros e a retenção de informação nos supervisores ou outros colaboradores deixa de existir, uma vez que a informação está centralizada. As ferramentas também aumentam a fiabilidade dos resultados, uma vez que a possibilidade de ocorrerem erros humanos é menor.

6 SIMULAÇÃO DAS LINHAS DE REBOBINAGEM E EMBALAGEM AUTOMÁTICA DE ROLOS

Numa primeira fase, apresenta-se a área em estudo, com a descrição dos objetos e entidades utilizados para representar o sistema. Depois, expõe-se a parametrização dos fatores críticos das linhas de rebobinagem e embalagem automática de rolos de aglomerado composto, para a representação do sistema. Por fim, apresentam-se vários exemplos da simulação em funcionamento, para diferentes tipos de rolos e embalagens, de forma a ser feita uma análise do balanceamento do sistema.

6.1 Representação da área em estudo

Para a elaboração da simulação da área em estudo, primeiro representou-se o sistema com objetos e entidades. Assim, a Figura 36 mostra a concretização desta primeira etapa, em que houve uma representação do layout das linhas de rebobinagem e embalagem automática de rolos de aglomerado composto.

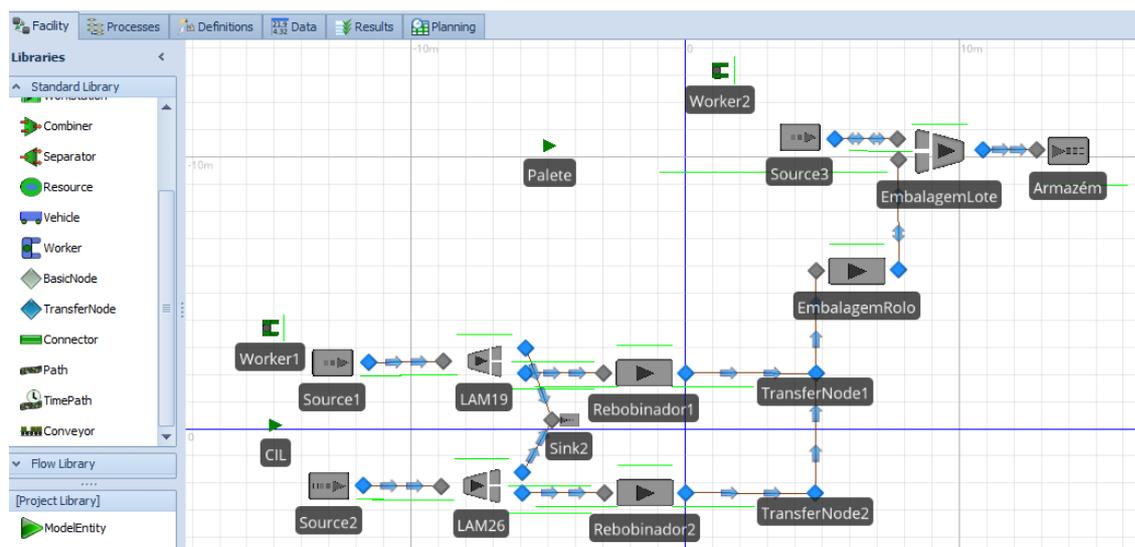


Figura 36: Representação do sistema através de objetos e entidades

Criaram-se duas entidades, a entidade CIL e a entidade Palette, que representam, nomeadamente, cilindros e paletes. O Source1 e o Source2 criam entidades do tipo CIL que depois são conduzidas até aos *Separators* LAM1 ou LAM2, que representam as laminadoras. O Worker1 realiza as operações de *setup* em cada uma das laminadoras e como produto resultante do processo de laminagem, forma-se um rolo contínuo e desperdício. O desperdício segue para o Sink1 e o rolo é dirigido para o *Server* Rebobinador1 ou Rebobinador2, onde os rolos são enrolados no comprimento pretendido. De seguida, os rolos atravessam os *Conveyors*, tapetes rolantes, até à zona de embalagem. Aqui, primeiramente os

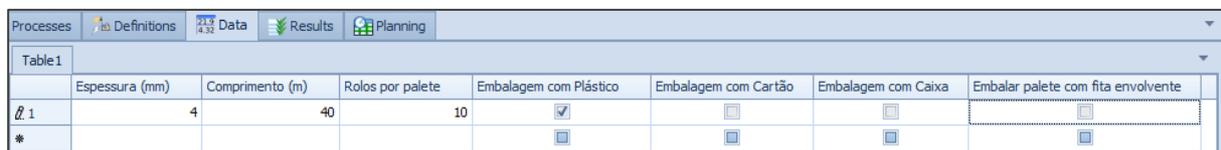
rolos são embalados individualmente pelo Worker2 no *Server* EmbalagemRolo e, de seguida, o Worker2 transporta um rolo de cada vez até ao *Combiner* EmbalagemLote. O Source3 cria entidades do tipo Palete. Quando se reúnem o número de rolos necessários para formar um lote, o Worker2 embala o lote no *Combiner* EmbalagemLote. Por fim, os lotes são recolhidos e colocados no armazém e o fluxo termina no *Sink* Armazém.

6.2 Levantamento e parametrização dos fatores críticos das linhas

O funcionamento e balanceamento do sistema em estudo depende das dimensões finais do rolo, do tipo de embalagem e do número de rolos que cada palete leva. Esses parâmetros influenciam o funcionamento de toda a linha, como se verá de seguida.

6.2.1 Tabela de interface

Uma vez que existem parâmetros que influenciam o funcionamento de todo o sistema, surgiu a necessidade de se criar uma tabela de interface, que fizesse a ponte dos dados inseridos pelo utilizador, que variam conforme os pedidos de produção, com a simulação. Desta forma, foi criada a Table1, representada na Figura 37.



	Espessura (mm)	Comprimento (m)	Rolos por palete	Embalagem com Plástico	Embalagem com Cartão	Embalagem com Caixa	Embalagem palete com fita envolvente
Ø 1	4	40	10	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
*				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figura 37: Tabela de interface

O utilizador tem de inserir a espessura e comprimento do rolo pretendido, variáveis reais, tem de escolher quantos rolos leva cada palete, variável inteira, tem de escolher se a embalagem dos rolos é feita em plástico, cartão ou caixa, variáveis booleanas, e se a embalagem da palete leva ou não fita envolvente, variável booleana também. A partir destas variáveis o programa calcula outras variáveis através de expressões matemáticas para a correta representação do sistema na simulação.

6.2.2 Número de rolos por cilindro

Quando se lamina um cilindro forma-se um rolo contínuo, cujo comprimento é dado pela Equação 2. O diâmetro externo do cilindro (\varnothing_{ec}) para os cilindros de aglomerado composto é 1100 milímetros e o diâmetro interno do cilindro (\varnothing_{ic}) para os cilindros de aglomerado composto é 195 milímetros. A espessura corresponde à espessura do rolo inserida na Table1.

$$\text{Comprimento}_{\text{Rolo Contínuo}} = \pi \frac{\left(\frac{\varnothing_{ec}}{2}\right)^2 - \left(\frac{\varnothing_{ic}}{2}\right)^2}{\text{Espessura}} \times 0,001 \quad (2)$$

Para o cálculo do número de rolos que se consegue obter a partir de um cilindro, é necessário proceder-se à divisão do comprimento do rolo contínuo pelo comprimento do rolo final pretendido.

6.2.3 Tempo de ciclo do rebobinador

O tempo de ciclo da operação de rebobinagem depende da espessura e comprimento do rolo. Quanto menor a espessura do rolo a ser produzido, mais tempo as laminadoras demoram a laminar o cilindro, uma vez que é necessário um maior controlo e precisão.

A operação de rebobinagem está dividida em três fases. A primeira fase em que o rebobinador anda a uma velocidade de 6m/min, a segunda fase em que o rebobinador anda à velocidade de 24m/min e, por fim, a última fase, em que o rebobinador volta a andar à velocidade de 6m/min. Quanto menor a espessura do rolo, maior será a distância do rolo percorrida pelo rebobinador na primeira e terceira fase, ou seja, mais tempo o rebobinador tem de andar a uma velocidade de 6m/min, e, por isso, maior o tempo de ciclo correspondente. Assim, para determinar o tempo de ciclo de rebobinagem, construiu-se a Tabela 21, que indica para cada intervalo de espessuras, a distância a percorrer em cada fase.

Tabela 21: Distância da primeira e terceira fase para cada intervalo de espessuras

Espessura (mm)	Distância da primeira fase (m)	Distância da terceira fase (m)
1,6 a 2	9	4,5
2,1 a 4	6	3
4,1 a 6	3	1

A distância da segunda fase corresponde à diferença do comprimento do rolo pela distância da primeira e terceira fase. Assim, a partir da espessura e do comprimento do rolo é possível determinar a distância da fase 1, da fase 2 e da fase 3 e, através disso, é possível calcular o tempo de ciclo do rebobinador, dado pela Equação 3:

$$TC_{\text{Rebobinador}} = \left(\frac{\text{Distância}_{\text{fase 1}}}{6} + \frac{\text{Distância}_{\text{fase 2}}}{24} + \frac{\text{Distância}_{\text{fase 3}}}{6} \right) \times 60 \quad (3)$$

A multiplicação por 60 indica o tempo de ciclo do rebobinador em segundos.

6.2.4 Tempo de ciclo da embalagem

Relativamente à embalagem do rolo, esta pode ser feita em plástico, cartão e/ou caixa. Para o cálculo do tempo de ciclo de embalagem de um rolo em plástico é necessário primeiro determinar o diâmetro do rolo, o qual, por sua vez, depende da espessura e do comprimento do rolo que se quer produzir. O diâmetro do rolo é dado pela Equação 4:

$$Diâmetro_{Rolo} = 2 \times \sqrt{\frac{(Comprimento \times Espessura \times 1000)}{\pi} + \left(\frac{\varnothing_{tubo}}{2}\right)^2} \quad (4)$$

O comprimento e a espessura do rolo são inseridos na Table1 e o diâmetro do tubo (\varnothing_{tubo}) é 83,1 milímetros. Assim, conforme o diâmetro do rolo, o tempo de ciclo da operação de embalagem em plástico varia. Tal como se pode ver na Tabela 22, quanto maior o diâmetro do rolo, maior o tempo de ciclo da operação de embalagem do rolo em plástico.

Tabela 22: Tempo de Ciclo de embalagem em plástico de um rolo

Diâmetro do rolo (mm)	TC de embalagem em plástico (s)
<=250	45
>250 e <=350	55
>350	60

O tempo de embalar um rolo numa caixa é 30 segundos e o tempo de embalar um rolo em cartão é 70 segundos. Para estes dois tipos de embalagem, o diâmetro do rolo não influencia o tempo de ciclo de embalagem. O utilizador tanto pode escolher apenas um destes tipos de embalagem como os três. E o tempo de ciclo final corresponde à soma dos tempos de ciclo de cada embalagem escolhida.

6.2.5 Velocidade dos tapetes rolantes

A velocidade dos tapetes rolantes também é influenciada pelo diâmetro do rolo. Isto, porque se o diâmetro do rolo for igual ou superior a 300 milímetros, o tapete rolante consegue transportar no máximo vinte rolos de cada vez e, caso o diâmetro dos rolos for inferior a 300 milímetros, o tapete rolante só transporta no máximo dez rolos de cada vez.



Figura 38: Tapete rolante de transporte de rolos

Tal como demonstrado na Figura 38, quando o diâmetro dos rolos é igual ou superior a 300 milímetros, há a necessidade de haver um espaçamento entre os mesmos, o que já não acontece quando o diâmetro dos rolos é inferior a 300 milímetros.

Uma vez que a distância do tapete rolante é de 6 metros e a velocidade do mesmo adapta-se à velocidade do rebobinador. A expressão que traduz a velocidade dos tapetes rolantes é dada pela Equação 5:

$$Velocidade_{TapeteRolante} = \frac{6}{TC_{Reb} \times N} \quad (5)$$

Sendo que N corresponde ao número de rolos que o tapete rolante consegue transportar no máximo, dez ou vinte, conforme o diâmetro do rolo.

Tabela 23: Velocidade dos tapetes rolantes

Diâmetro do rolo (mm)	Velocidade Tapete Rolante (m/s)
≥ 300	$6 / (TC_{Reb} \times 10)$
< 300	$6 / (TC_{Reb} \times 20)$

6.3 Experiências de simulação

Há dois cenários que ocorrem quando se produzem rolos nas linhas de rebobinagem e embalagem automáticas: ou o sistema está balanceado e não há acumulação de stock entre postos de trabalho, ou o sistema não está balanceado e há acumulação de stock entre postos de trabalho. Se o tempo de ciclo total das operações de embalagem for inferior ou igual ao tempo de ciclo do rebobinador, não há acumulação de rolos entre a rebobinagem e a embalagem. Mas se o tempo de ciclo total das operações de embalagem for superior ao tempo de ciclo do rebobinador há acumulação de rolos entre os dois postos de trabalho nos tapetes rolantes.

Quando há acumulação de rolos nos tapetes rolantes, uma vez que a zona de embalagem não consegue dar vazão à produção que chega a montante, os colaboradores param uma das linhas. E a quantidade de rolos que se produz por turno diminui.

6.3.1 Exemplo 1: sistema balanceado

Simulou-se a produção de rolos de 6 milímetros de espessura e 35 metros de comprimento, em que a embalagem dos rolos é em plástico, cada paleta leva cinco rolos, e a embalagem da paleta é feita em fita envolvente. Estes valores e parâmetros foram inseridos na Table1 como se pode ver na Figura 39:

Table1	Espessura (mm)	Comprimento (m)	Rolos por paleta	Embalagem com Plástico	Embalagem com Cartão	Embalagem com Caixa	Embalagem paleta com fita envolvente
1	6	35	5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
*				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figura 39: Table1 preenchida para o primeiro exemplo

Ao correr a simulação constatou-se que, ao longo do tempo, não há rolos acumulados entre os rebobinadores e a zona de embalagem. Através do gráfico “Nº Rolos Acumulados entre os Rebobinadores e a Embalagem”, verifica-se que o número de rolos acumulados é sempre a zero ao longo do tempo (Figura 40). Ou seja, a embalagem consegue escoar todos os rolos que vêm a montante, porque o tempo de ciclo total da zona de embalagem é igual ou inferior ao tempo de ciclo dos rebobinadores. Desta forma, pode-se afirmar que o sistema está balanceado.

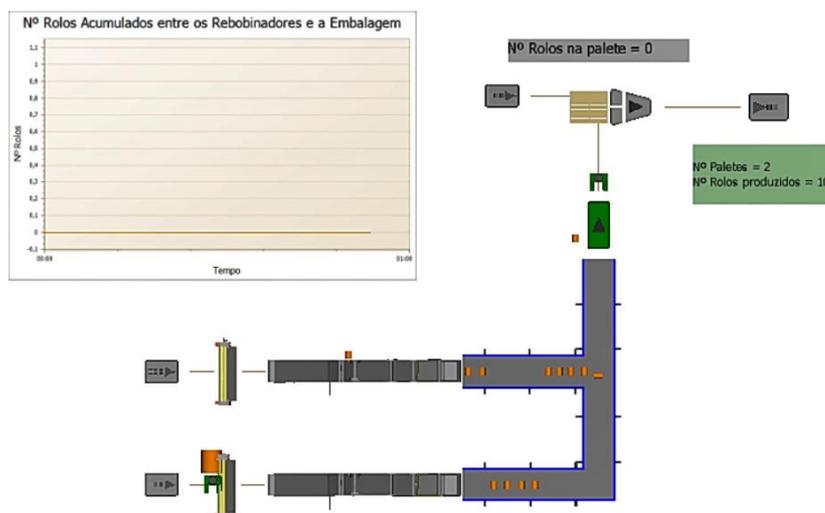


Figura 40: Simulação do exemplo 1

Além disso, as taxas de ocupação do laminador e do embalador são superiores a 75% e inferiores a 90% pelo que há um bom aproveitamento do tempo de trabalhado de cada um dos colaboradores, sem que haja um excesso de trabalho associado.

Tabela 24: Taxas de ocupação dos trabalhadores e produção por turno para o exemplo 1

Taxa de ocupação laminador	Taxa de ocupação embalador	Nº rolos produzidos/turno
87%	79%	210

6.3.2 Exemplo 2: sistema desequilibrado

Simulou-se a produção de rolos de 6 milímetros de espessura e 27 metros de comprimento, em que a embalagem dos rolos é em plástico e cada palete leva cinco rolos. Estes valores e parâmetros foram inseridos na Table1 como se pode ver na Figura 41:

Table1	Espessura (mm)	Comprimento (m)	Rolos por paleta	Embalagem com Plástico	Embalagem com Cartão	Embalagem com Caixa	Embalagem paleta com fita envolvente
1	6	27	5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
*				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figura 41: Table 1 preenchida para o segundo exemplo

Ao correr a simulação, verifica-se que há rolos acumulados entre os rebobinadores e a embalagem ao longo do tempo, tal como se visualiza pelo gráfico “N.º Rolos Acumulados entre os Rebobinadores e a Embalagem” (Figura 42). Isto acontece porque o tempo de ciclo do rebobinador é superior ao tempo de ciclo total da embalagem.

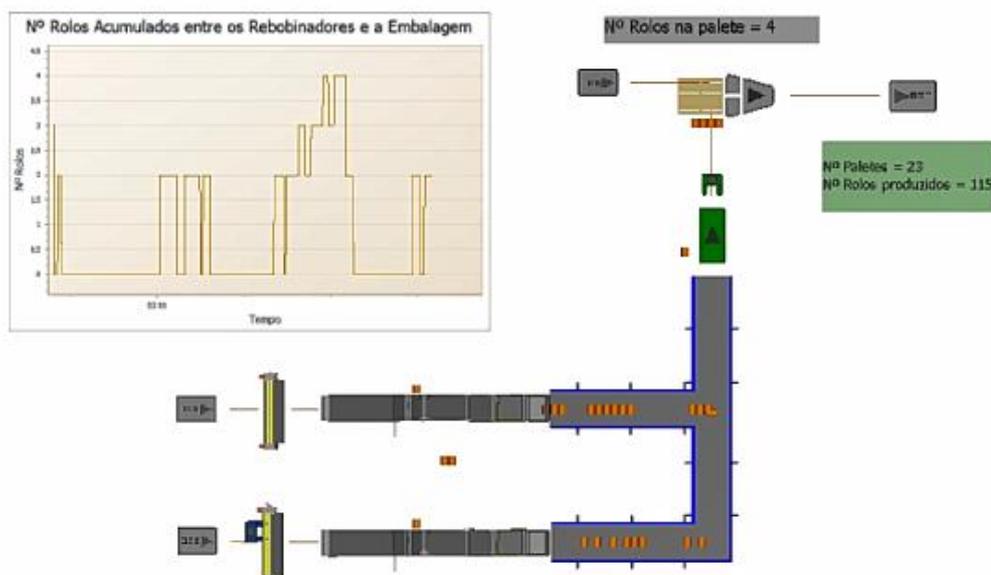


Figura 42: Simulação do exemplo 2

Quando isto acontece, como foi dito anteriormente, há a necessidade de se parar uma das linhas, para impedir a acumulação de rolos nos tapetes rolantes. Ao parar uma das linhas, deixa de haver acumulação de stock entre os dois postos.

6.3.3 Exemplo 3: Parar uma das linhas

Para este exemplo, utilizou-se os mesmos valores e parâmetros do exemplo anterior, só que foi parada uma das linhas. Assim, novamente, simulou-se a produção de rolos de 6 milímetros de espessura e 27 metros de comprimento, em que a embalagem dos rolos é em plástico e cada palete leva cinco rolos.

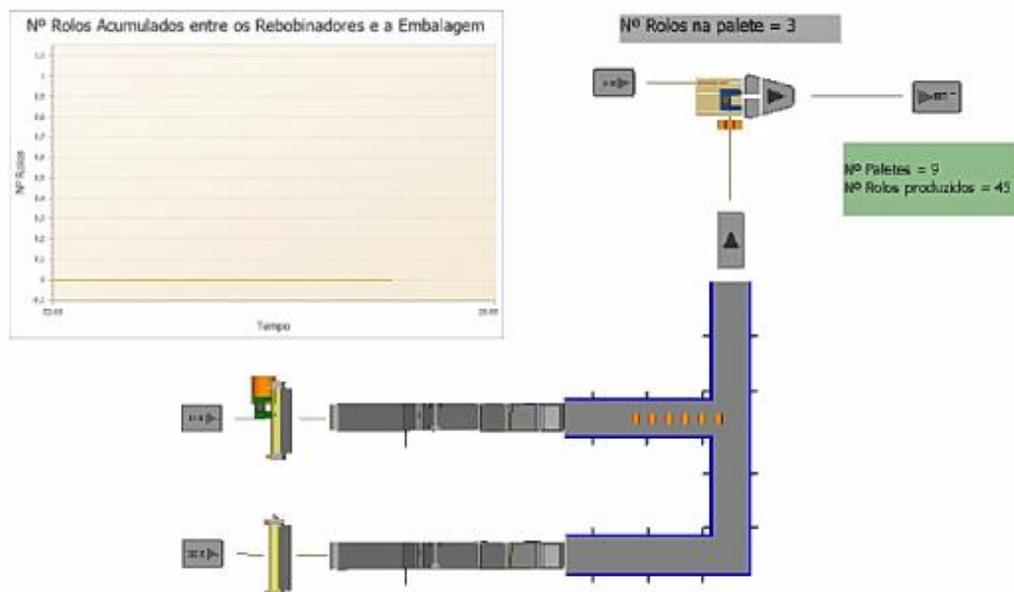


Figura 43: Simulação do exemplo 3

Desta forma, o sistema que anteriormente não estava balanceado com as duas linhas em funcionamento, agora com apenas uma das linhas em funcionamento já passa a estar balanceado (Figura 43).

Ao analisarmos as taxas de ocupação dos colaboradores constatamos que são inferiores a 50%, o que representa um aproveitamento da mão-de-obra muito baixo.

Tabela 25: Taxas de ocupação dos trabalhadores e produção por turno para o exemplo 3

Taxa de ocupação laminador	Taxa de ocupação embalador	Nº rolos produzidos/turno
41%	47%	155

6.3.4 Exemplo 4: duplicar os recursos da zona de embalagem

De forma a averiguar o impacto de duplicar a zona de embalagem, fez-se uma simulação com o dobro de recursos na zona de embalagem, dois colaboradores e duas máquinas de embalagem de plástico. Sendo assim, para este exemplo, utilizou-se os mesmos valores e parâmetros do exemplo 2 e 3, rolos de 6 milímetros de espessura e 27 metros de comprimento, em que a embalagem dos rolos é em plástico e cada palete leva cinco rolos.

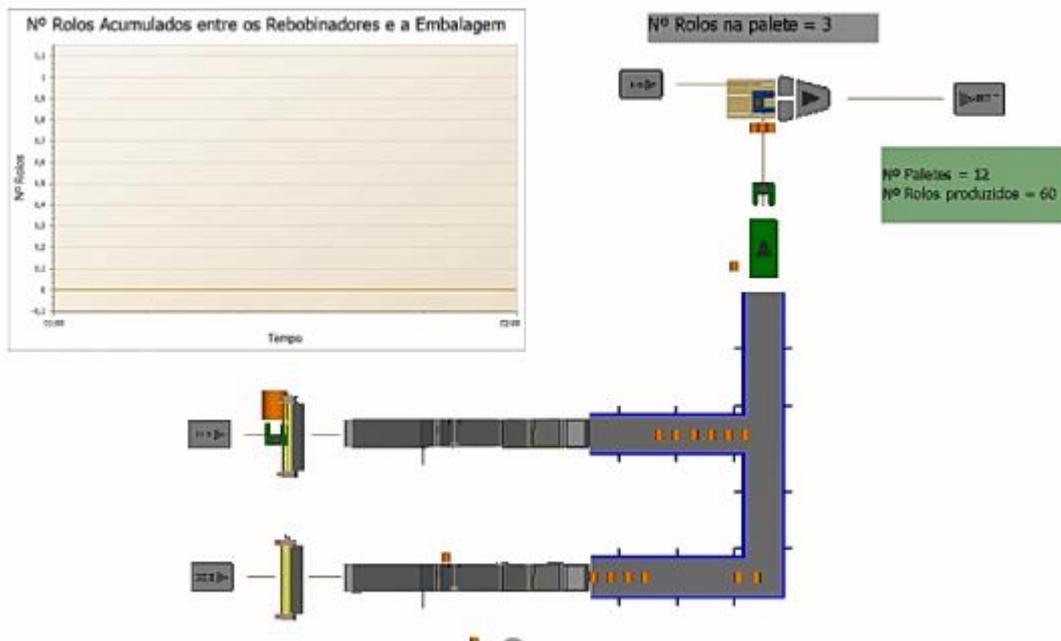


Figura 44: Simulação do exemplo 4

Ao correr a simulação constata-se que não existem rolos acumulados entre os rebobinadores e a zona de embalagem, ou seja, o sistema está balanceado (Figura 44). A taxa de ocupação do laminador é 82%, mas as taxas de ocupação dos embaladores são bastante reduzidas, inferiores a 50%.

Tabela 26: Taxas de ocupação dos trabalhadores e produção por turno para o exemplo 4

Taxa de ocupação laminador	Taxa de ocupação embalador	Taxa de ocupação embalador 2	Nº rolos produzidos/turno
82%	42%	26%	375

Ao comparar o número de rolos produzidos por turno dos exemplos 3 e 4 constata-se que na simulação do exemplo 3 a produção foi de 155 rolos por turno e na simulação do exemplo 4 a produção foi de 375 rolos por turno. Portanto, houve um aumento de 58,67% da produção por turno, que representa um aumento significativo, mais do dobro do aumento de produção.

6.3.5 Exemplo 5: colocar um buffer entre a zona de embalagem e de rebobinagem

Retomando ao exemplo 2 e analisando novamente o gráfico “N.º Rolos Acumulados entre os Rebobinadores e a Embalagem”, constata-se que à medida que o tempo vai passando há acumulação de stock entre os rebobinadores e embalagem, mas verifica-se que a zona de embalagem acaba por conseguir dar vazão aos rolos que acumulam, uma vez que o stock acaba sempre por retomar a zero, ao longo do turno (Figura 45). Contudo isto só pode acontecer se se conseguir arranjar uma forma de evitar que os rolos fiquem amontoados nos tapetes rolantes.

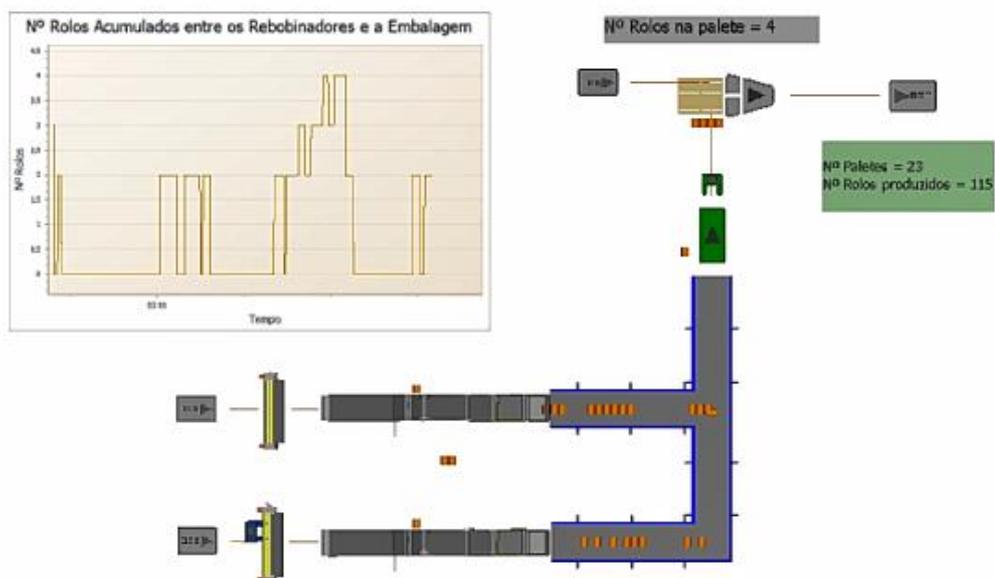


Figura 45: Simulação do exemplo 5

Ao analisarmos as taxas de ocupação, tanto a do laminador como a do embalador estão acima dos 80% e abaixo dos 90%. Ou seja, há um bom aproveitamento da mão-de-obra. A nível de produção, foram produzidos 280 rolos num turno.

Tabela 27: Taxas de ocupação dos trabalhadores e produção por turno para o exemplo 3

Taxa de ocupação laminador	Taxa de ocupação embalador	Nº rolos produzidos/turno
82%	85%	280

Uma solução para permitir que os rolos continuem a ser produzidos, sem ser necessário parar uma das linhas, pode ser, por exemplo, colocar um buffer intermédio e, se for necessário, o laminador trabalhar menos tempo para depois o embalador escoar os rolos acumulados.

Comparando os exemplos 3, 4 e 5, sendo que para estes três exemplos foram selecionados os mesmos parâmetros para o tipo de rolo e embalagem: no exemplo 3, em que foi parada uma das laminadoras, a produção foi de 155 rolos por turno, no exemplo 4, em que foram duplicados os recursos da zona de embalagem, a produção foi de 375 rolos por turno e no exemplo 5, em que foi colocado um buffer intermédio, a produção foi de 280 rolos por turno.

Comparando a produção do exemplo 4 e do exemplo 5, verifica-se que há uma diminuição de 33,9% da produção de rolos. Assim, o exemplo 4 é a opção que garante uma maior produção de rolos por turno. Contudo, o exemplo 5 é a opção que acarreta menos custos, há um maior aproveitamento da mão de obra e dos equipamentos já existentes, sendo, todavia necessário incorporar um buffer intermédio.

6.4 Discussão dos resultados obtidos

Depois da análise dos cenários estabelecidos verificamos que o sistema das linhas de rebobinagem e embalagem de rolos pode estar balanceado ou não conforme as características do rolo, comprimento e espessura, e da embalagem.

Diz-se que o sistema está balanceado quando não há acumulação de stock entre a rebobinagem e a embalagem. Ora, verificou-se que o sistema está balanceado para o exemplo 1, rolos de 6 milímetros de espessura e 35 metros de comprimento, em que a embalagem dos rolos é em plástico, cada palete leva cinco rolos e a embalagem da paleta é feita em fita envolvente. Por outro lado, verificou-se que o sistema não está balanceado para o exemplo 2, rolos de 6 milímetros de espessura e 27 metros de comprimento, em que a embalagem dos rolos é em plástico e cada paleta leva cinco rolos.

A partir do exemplo 2 foram estudados outros cenários, mantendo sempre as características do rolo e da embalagem, mas alterando alguns recursos do sistema. No exemplo 3 bloqueou-se uma das duas linhas de rebobinagem, que na prática é o que acontece quando o sistema não está balanceado e há uma acumulação de rolos nos tapetes rolantes. Como seria de esperar o sistema passou a estar balanceado, contudo constatou-se que as taxas de ocupação dos trabalhadores eram inferiores a 50%, o que representava um aproveitamento da mão-de-obra muito baixo.

Para o exemplo 4, mantiveram-se as duas linhas a funcionar e duplicaram-se os recursos da zona de embalagem, dois colaboradores e duas máquinas de embalagem de plástico. E utilizaram-se as mesmas características do rolo e da embalagem dos exemplos 2 e 3, rolos de 6 milímetros de espessura e 27 metros de comprimento, a embalagem dos rolos em plástico e cada paleta leva cinco rolos. O sistema

passa assim a estar balanceado e há um aumento de 58,67% da produção por turno em comparação com o exemplo 3, o que representa um aumento significativo de mais do dobro de produção.

Por fim, num último exemplo, no exemplo 5, voltou-se a analisar o exemplo 2. Perante a análise do gráfico “N.º Rolos Acumulados entre os Rebobinadores e a Embalagem”, verificou-se que à medida que o tempo passava havia acumulação de stock, mas a zona de embalagem acabava por conseguir dar vazão aos rolos acumulados, uma vez que o número de rolos acumulados retoma sempre a zero ao longo do turno.

Comparando a produção do exemplo 4 e do exemplo 5, verifica-se que há uma diminuição de 33,9% da produção de rolos. Assim, o exemplo 4 é a opção que garante uma maior produção de rolos por turno. Contudo, o exemplo 5 é a opção que acarreta menos custos, há um maior aproveitamento da mão de obra e dos equipamentos já existentes, sendo, todavia necessário incorporar um buffer intermédio.

7 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

O presente trabalho de dissertação foi elaborado no contexto de uma empresa corticeira, dedicada à aglomeração de cortiça e outros materiais, como borracha, espumas e plásticos reciclados e à transformação desses mesmos aglomerados em produtos, como juntas, calçado, pavimentos, bens de consumo, revestimentos acústicos e superfícies desportivas.

Desenvolveram-se ferramentas de automatização da pesquisa de informação, nomeadamente, uma ferramenta de pesquisa das referências que cumprem com os requisitos inseridos e uma ferramenta de pesquisa das dimensões disponíveis ou das etapas produtivas para um dado produto. Para a construção destas ferramentas foram utilizados o *Microsoft Excel*, o *Microsoft Access* e o *Visual Basic For Applications*.

Calculou-se o tempo médio por pesquisa sem e com a utilização das ferramentas desenvolvidas e pode-se constatar que houve uma redução significativa de 92% do tempo médio efetuado por pesquisa. Desta forma, menos tempo dos recursos humanos é despendido na recolha, gestão e seleção da informação. Além disso, os problemas de dispersão de informação nos vários ficheiros e a retenção de informação nos supervisores ou outros colaboradores deixam de existir, uma vez que a informação está centralizada. As ferramentas também aumentam a fiabilidade dos resultados, uma vez que a possibilidade de ocorrerem erros humanos é menor.

Enquanto as ferramentas de pesquisa de informação permitem agilizar o acesso a informação, a simulação de sistemas permite adicionar níveis de análise, uma vez, que a simulação permite aos utilizadores observarem comportamentos e dinâmicas e testarem diversos cenários. Para a presente dissertação simulou-se as linhas de rebobinagem e embalagem automática de rolos de aglomerado composto, com recurso ao *software* SIMIO.

Primeiro houve um levantamento e parametrização dos fatores críticos da linha, para que fosse elaborada a simulação e de seguida estudou-se o balanceamento do sistema face a diferentes cenários. Conforme o tipo de rolo a ser produzido e conforme o tipo de embalagem, o balanceamento do sistema varia. Foram estudados outros cenários para quando o sistema não está balanceado, de forma a evitar essa ocorrência.

Os trabalhos futuros propostos incluem: associar um custeio às etapas produtivas apresentadas pelas ferramentas de automatização de pesquisa de informação; simular sistemas, linhas, ou equipamentos

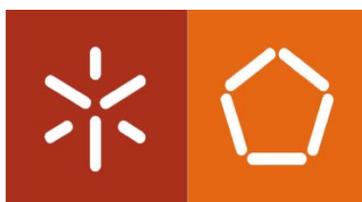
antes da implementação no chão de fábrica para o estudo do balanceamento; simular sistemas, linhas, ou equipamentos para a detecção de pontos de estrangulamento, taxas de utilização desequilibradas ou outras falhas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aggarwal, A. K. (2004). *An Excel-Based Decision-Making Tool*.
- Alexander, M., & Kusleika, R. (2019). *Excel 2019 Power Programming with VBA*.
- Almeida, F. (2017). *Practical SQL Guide for Relational Databases*. (September).
- Balaban, M. (2017). *Principles of Programming Languages*. Retrieved from https://www.cs.bgu.ac.il/~ppl172/wiki.files/class/book/ppl17_chapter1.pdf
- Banks, J. (1998). *Handbook of Simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice*.
- Caldeira, F. (2003). *Introdução aos Sistemas de Gestão de Bases de Dados Microsoft ACCESS*. 1–40. Retrieved from <https://drive.google.com/file/d/0ByoalPrGoNQvQOVLQk45T3IFSGM/view?usp=sharing>
- Carvalho, A. (2017). *Automatização em Excel*.
- Carvalho, J. V. de, Azevedo, A., & Abreu, A. (2010). *Microsoft Access 2010*. 2010(May), 3–5.
- Chung, L. (2004). *Microsoft Access or Microsoft SQL Server : What's Right in Your Organization ?*
- Codd, E. F. (1990). The Relational Model for Database Management. In *Database*. Retrieved from <http://books.google.co.kr/books?q=9780201141924>
- Coelho, J. (2011). *Introdução à Base de Dados*. 1–35. Retrieved from [https://repositorioaberto.uab.pt/bitstream/10400.2/3462/1/Introdução à Base de Dados.pdf](https://repositorioaberto.uab.pt/bitstream/10400.2/3462/1/Introdução%20à%20Base%20de%20Dados.pdf)
- Dellot, B., & Wallace-Stephens, F. (2017). *The age of automation. Artificial intelligence, robotics and the future of low-skilled work* (Vol. 44). <https://doi.org/10.1049/tpe.1965.0016>
- Dias, L. M. S., Vieira, A. A. C., Pereira, G. A. B., & Oliveira, J. A. (2016). Discrete simulation software ranking -A top list of the worldwide most popular and used tools. *Proceedings - Winter Simulation Conference, 0*, 1060–1071. <https://doi.org/10.1109/WSC.2016.7822165>
- Domingues, L. (2012). Excel – Macros e Visual Basic for Applications. In *Dados*. <https://doi.org/10.1504/IJIQ.2014.064059>
- Eder, W. E., & Hubka, V. (1990). Theory of technical systems: a total concept theory for engineering design. In *Design Studies* (Vol. 11). [https://doi.org/10.1016/0142-694x\(90\)90029-c](https://doi.org/10.1016/0142-694x(90)90029-c)
- Fowler, J. W., & Rose, O. (2004). Grand challenges in modeling and simulation of complex manufacturing systems. *Simulation, 80*(9), 469–476. <https://doi.org/10.1177/0037549704044324>
- Goldberg, K. (2012). What is automation? *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, 9*(1), 1–2. <https://doi.org/10.1109/TASE.2011.2178910>
- Gunjal, B. (2003). Database Management: Concepts and Design. In *Proceedings of Knowledge Management in Special Libraries in Digital Environment : XXIV All India Conference of IASLIC, 15-18 December, (February), 385–398*. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/257298522_Database_Management_Concepts_and_Design
- Haigh, J. M., & Caringj, R. G. (2007). Automation vs. human intervention: What is the best mix for optimum system performance? A case study. *International Journal of Risk Assessment and Management, 7*(5), 708–721. <https://doi.org/10.1504/IJRAM.2007.014095>
- Held, B. (2006). *Microsoft Excel functions & formulas*.
- Hibbs, C., Jewett, S., & Sullivan, M. (2019). The Art of Lean Software Development. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Kelton, W. D., & Law, A. M. (1983). SIMULATION MODELING & ANALYSIS. In *Winter Simulation Conference Proceedings* (Vol. 1). <https://doi.org/10.1201/9781351074681-5>
- Ken Peffers, Tuure Tuunanen, Marcus A. Rothenberger, & Samir Chatterjee. (2007). A Design Science

- Research Methodology for Information Systems Research. *Journal of Management Information Systems*, 24(3), 45–77.
- Kroenke, D. M., Auer, D. J., Vandenberg, S. L., & Yoder, R. C. (2019). *Database Processing - Fundamentals, Design, and Implementation*.
- Liu, L. (2018). The Process to Design an Automation System. *Journal of Physics: Conference Series*, 1087(4). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1087/4/042001>
- Mahmudova, S. (2018). *Development tendencies of programming languages*. (June).
- Morgan, C. B., Banks, J., & Carson, J. S. (1984). Discrete-Event System Simulation. In *Technometrics* (Vol. 26). <https://doi.org/10.2307/1268124>
- Nielsen, J. J. (2017). Microsoft Official Academic Course MICROSOFT EXCEL 2016 EXPERT. In *Bilgisayara giriş*. <https://doi.org/10.14527/9786052410707.06>
- Ohno, T. (1988). *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production: Taylor & Francis*.
- Paiva, A. (2005). *Geração Automática de Modelos de Simulação de uma Linha de Produção na Indústria Têxtil*.
- Pegden, C. D. (2009). *An Introduction to Simio for Arena Users*.
- Pegden, C. D., & Sturrock, D. T. (2010). Introduction to SIMIO. *Simulation*, 3514–3519.
- Pegden, C. D., & Sturrock, D. T. (2014). *Rapid Modeling Solutions: Introduction to Simulation and Simio*. Retrieved from http://www.simio.com/downloads/public/documents/RapidModelingSolutions_Color.pdf
- Pinto, M. (2010). *Microsoft Excel 2010*.
- Poppendieck, M., & Poppendieck, T. (2003). *Lean software development: an agile toolkit* (Vol. 36). <https://doi.org/10.1109/MC.2003.1220585>
- Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (1917). Research Methods for Business Students. In *Geological Magazine* (Vol. 4). <https://doi.org/10.1017/S0016756800135770>
- Shingo, S. (1989). *A study of the Toyota Production System from industrial engineering*.
- Silva, P. S., Trigo, A., Varajão, J., & Pinto, T. (2010). *Simulation – Concepts and Applications*.
- Smith A, T. Y. (2015). Lean Thinking: An Overview. *Industrial Engineering and Management*, 04(02), 1–6. <https://doi.org/10.4172/2169-0316.1000159>
- Sumathi, S., & Esakkirajan, S. (2007). *Fundamentals of Relational Database Management Systems*.
- Vieira, A. (2013). *Tese de Mestrado. Microssimulação para avaliar o impacto da introdução de pré-semáforos em cruzamentos*. Universidade do Minho.
- Vieira, A. A. C. (2019). *Real-Time Simulation of Supply Chain Processes Supported by Big Data in an Industry 4.0 Context*. <https://doi.org/10.1145/1390630.1390641>
- Vieira, A., Dias, L., Pereira, G., & Oliveira, J. (2014). *Comparison of simio and arena simulation tools*. 5–13.
- White, K. P., & Ingalls, R. G. (2009). Introduction to simulation. *Proceedings - Winter Simulation Conference*, (December 2009), 12–23. <https://doi.org/10.1109/WSC.2009.5429315>
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (2003). Lean Thinking - Banish Waste and Create Wealth in your Corporation. In *Interchange* (Vol. 18). <https://doi.org/10.1007/BF01807056>
- Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos., D. (1990). *The machine that changed the world*. Macmillan Publishing Company. 323.

APÊNDICE 1 – MANUAL DE UTILIZAÇÃO DAS FERRAMENTAS DE AUTOMATIZAÇÃO DE PESQUISA DE INFORMAÇÃO E DE SIMULAÇÃO



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

MANUAL DE UTILIZAÇÃO DAS FERRAMENTAS DE AUTOMATIZAÇÃO DE PESQUISA DE INFORMAÇÃO E DE SIMULAÇÃO

Maria Catarina de Sousa Menezes Mesquita

Índice

1	Introdução	89
2	Ferramentas de automatização da pesquisa de informação	90
2.1	Ferramenta de pesquisa das referências que cumprem com os requisitos.....	90
2.2	Ferramenta de pesquisa das dimensões disponíveis ou das etapas produtivas	91
2.2.1	Menu principal.....	91
2.2.2	Adicionar referência	93
2.2.3	Moldes disponíveis para aglomeração de blocos.....	93
2.2.4	Rolos perfilados	96
2.2.5	Placas	100
2.2.6	Folha curada à espessura	104
3	Simulação das linhas de rebobinagem e embalagem automática de rolos de aglomerado composto	106
3.1	Apresentação do sistema.....	106
3.2	Tabela de interface	107

1 Introdução

De forma a auxiliar a utilização das ferramentas desenvolvidas de automatização da pesquisa de informação e de simulação, elaborou-se um manual de utilização, que explica as funcionalidades de cada ferramenta.

Numa primeira etapa, apresentam-se as ferramentas de automatização da pesquisa de informação, nomeadamente a ferramenta de pesquisa das referências que cumprem com os requisitos pretendidos, desenvolvida a partir do *Microsoft Access* e VBA, e a ferramenta de pesquisa das dimensões disponíveis ou das etapas produtivas, construída a partir do *Microsoft Excel* e VBA.

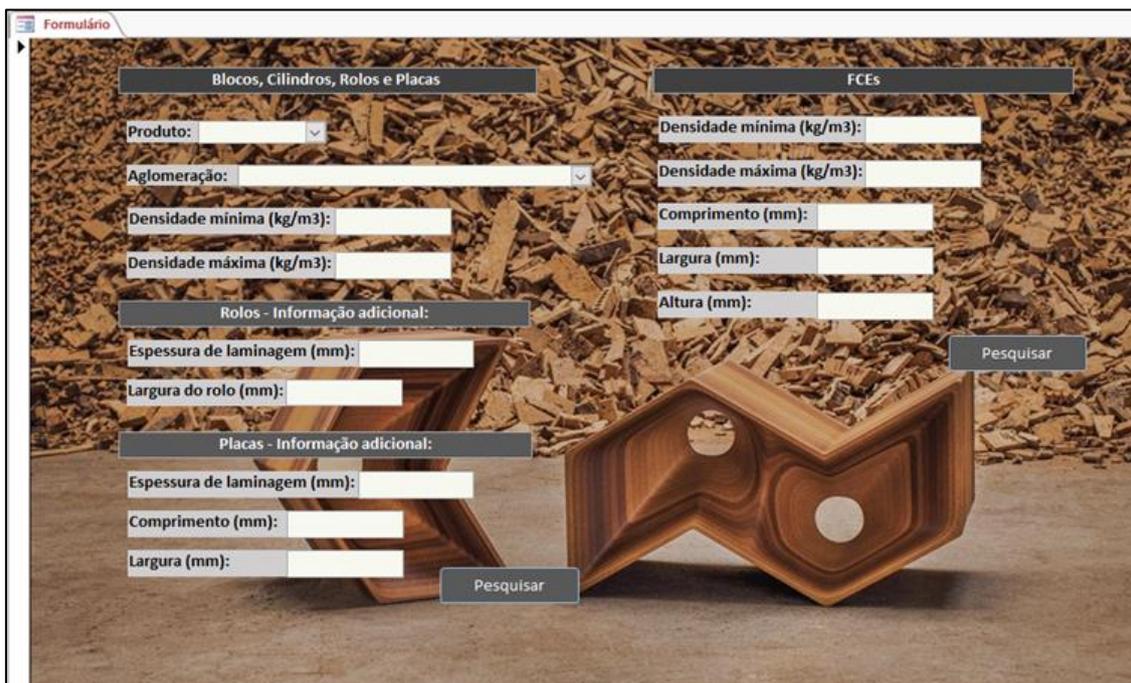
De seguida, apresenta-se a ferramenta de simulação das linhas de rebobinagem e embalagem automática de rolos de aglomerado composto. De forma, a facilitar o uso da ferramenta de simulação, desenvolveu-se uma tabela de interface, que faz a ponte dos dados inseridos pelo utilizador com a simulação.

2 Ferramentas de automatização da pesquisa de informação

Tal como mencionado anteriormente, primeiro apresentam-se as funcionalidades da ferramenta de pesquisa das referências que cumprem com os requisitos pretendidos e, posteriormente, apresentam-se as funcionalidades da ferramenta de pesquisa das dimensões disponíveis ou das etapas produtivas.

2.1 Ferramenta de pesquisa das referências que cumprem com os requisitos

A ferramenta de pesquisa das referências que cumprem com os requisitos foi desenvolvida em *Access* e *VBA* e visa agilizar o processo de procura de informação. Após preenchido o formulário ilustrado na Figura 1 o programa seleciona e apresenta uma lista de referências que cumprem com os requisitos inseridos. Os parâmetros tidos em consideração são: o tipo de produto, o tipo de aglomeração, a densidade, a espessura de laminagem e as dimensões do produto.



The image shows a software interface titled "Formulário" (Form) with a background of wood chips and a wooden mold. The form is divided into two main sections: "Blocos, Cilindros, Rolos e Placas" (Blocks, Cylinders, Rolls and Plates) and "FCEs".

Blocos, Cilindros, Rolos e Placas:

- Produto: [dropdown menu]
- Aglomeração: [dropdown menu]
- Densidade mínima (kg/m³): [text input]
- Densidade máxima (kg/m³): [text input]

Rolos - Informação adicional:

- Espessura de laminagem (mm): [text input]
- Largura do rolo (mm): [text input]

Placas - Informação adicional:

- Espessura de laminagem (mm): [text input]
- Comprimento (mm): [text input]
- Largura (mm): [text input]

FCEs:

- Densidade mínima (kg/m³): [text input]
- Densidade máxima (kg/m³): [text input]
- Comprimento (mm): [text input]
- Largura (mm): [text input]
- Altura (mm): [text input]

There are two "Pesquisar" (Search) buttons: one at the bottom right of the FCEs section and one at the bottom center of the Placas section.

Figura 1: Menu de Interface

O utilizador deve escolher o tipo de produto em que se baseará a pesquisa. Se for um bloco, cilindro, rolo ou placa, deve ser preenchida a parte esquerda do formulário. O usuário tem de escolher o produto, o tipo de aglomerado, a densidade mínima e a densidade máxima. Caso o produto seja um rolo, há uma secção de informação adicional, onde devem ser preenchidos os parâmetros espessura de laminagem e largura do rolo. Caso o produto seja uma placa, há também

uma secção de informação adicional respetiva, onde devem ser preenchidos os parâmetros espessura de laminagem, comprimento e largura.

Se for uma FCE (Folha curada à espessura) então deve ser preenchida a parte direita do formulário. Os parâmetros a preencher são a densidade mínima, a densidade máxima, o comprimento, a largura e a altura da FCE.

Caso seja selecionado o botão de pesquisa referente às FCEs, o código verifica se há algum campo por preencher. Se não houver a pesquisa é efetuada. Se for selecionado o outro botão de pesquisa, da parte esquerda, referente aos blocos, cilindros, rolos ou placas, o código também verifica se todos os parâmetros estão preenchidos e, caso o produto seja um rolo ou uma placa, verifica também se os parâmetros da informação adicional estão introduzidos. Só se isto se verificar, é que a pesquisa é efetuada.

2.2 Ferramenta de pesquisa das dimensões disponíveis ou das etapas produtivas

Na ferramenta de pesquisa das dimensões disponíveis ou das etapas produtivas desenvolveram-se interfaces que fazem a ponte da informação inserida pelo utilizador com o programa, para serem apresentados os dados solicitados.

O utilizador pode pesquisar as dimensões disponíveis de moldes para a aglomeração de cilindros e blocos para uma dada referência e pode também averiguar se um dado produto, placa, rolo, ou FCE, pode ser produzido e, caso possa, indica as etapas produtivas para a obtenção desse mesmo produto.

2.2.1 Menu principal

No menu principal, pode-se efetuar pesquisas, eliminar ou adicionar referências à base de dados e aceder às folhas de cálculo, onde está localizada a base de dados e onde são efetuados cálculos auxiliares. Existem quatro botões que realizam estas quatro tarefas. A Figura 2 apresenta o menu principal.

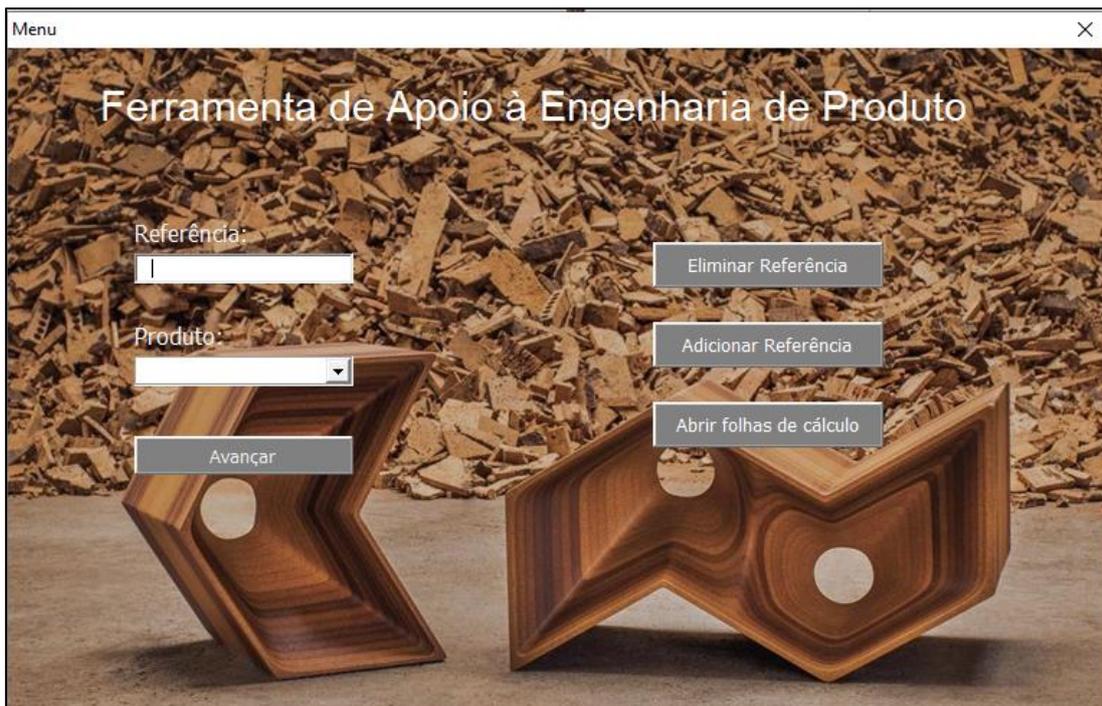


Figura 2: Menu principal da ferramenta

Caso o utilizador pretenda efetuar uma pesquisa deve inserir o código da referência e selecionar um dos cinco produtos: bloco, cilindro, rolo, placa ou FCE. Após clicar no botão Avançar, o programa averigua se a referência inserida está de facto presente na base de dados. De seguida, ou abre-se um novo formulário, ou é apresentada a informação solicitada, conforme o tipo de produto selecionado.

Se se pretender fazer alguma alteração à ferramenta ou aceder às tabelas da base de dados, deve-se clicar no botão Abrir Folhas de Cálculo.

Se o utilizador pretender eliminar uma referência da base de dados deve inserir o código da referência e clicar no botão Eliminar Referência. Ao clicar neste botão é enviada uma mensagem para que confirme a execução desta ação. Caso queira efetivamente remover a referência, então em todas as tabelas da base de dados são removidos os registos da referência.

Por fim, caso o utilizador queira adicionar uma referência à base de dados deve clicar no botão Adicionar Referência e um novo formulário surge, o qual deve ser preenchido com os dados das características da nova referência.

2.2.2 Adicionar referência

Quando o utilizador clica no botão Adicionar Referência, abre-se então um novo formulário, representado na Figura 3. Neste formulário, deve-se inserir o código da nova referência e o tipo de aglomerado. Além disso, conforme os produtos que podem ser aglomerados na referência, devem ser preenchidas as secções respetivas. Cada secção tem um conjunto de campos, nomeadamente as dimensões dos moldes em que se pode aglomerar a referência, a densidade e para os blocos e cilindros as espessuras mínimas e máximas de laminagem a quente e a frio.

Adicionar Referência

Figura 3: Registo das Características de uma Nova Referência

Numa primeira fase o programa verifica se todos os campos necessários para o registo estão preenchidos e, só depois é que a mesma é adicionada às tabelas da base de dados.

2.2.3 Moldes disponíveis para aglomeração de blocos

Se se quiser saber quais os moldes disponíveis para a aglomeração de um bloco numa dada referência, apenas é necessário preencher os campos do menu principal, representado na Figura 2 e clicar no botão Avançar. Após isso, a ferramenta apresenta a lista de dimensões de moldes disponíveis.

Por exemplo, para a referência 8003 é possível a aglomeração de blocos nos moldes BL1, BL2, BL3I e BL3M como se pode visualizar na Figura 4.



Figura 4: Menu blocos

Se se pretender saber quais os moldes disponíveis para a aglomeração de um cilindro para uma dada referência, deve-se preencher os campos do menu principal, representado na Figura 2 e clicar no botão Avançar.

A ferramenta apresenta então uma lista de diâmetros disponíveis. Por exemplo, para a referência 8245, as categorias de cilindros disponíveis são os Cilindros CNM, com 1100 milímetros de diâmetro, e os Cilindros DS, com 39 polegadas de diâmetro, como se pode ver na Figura 5.

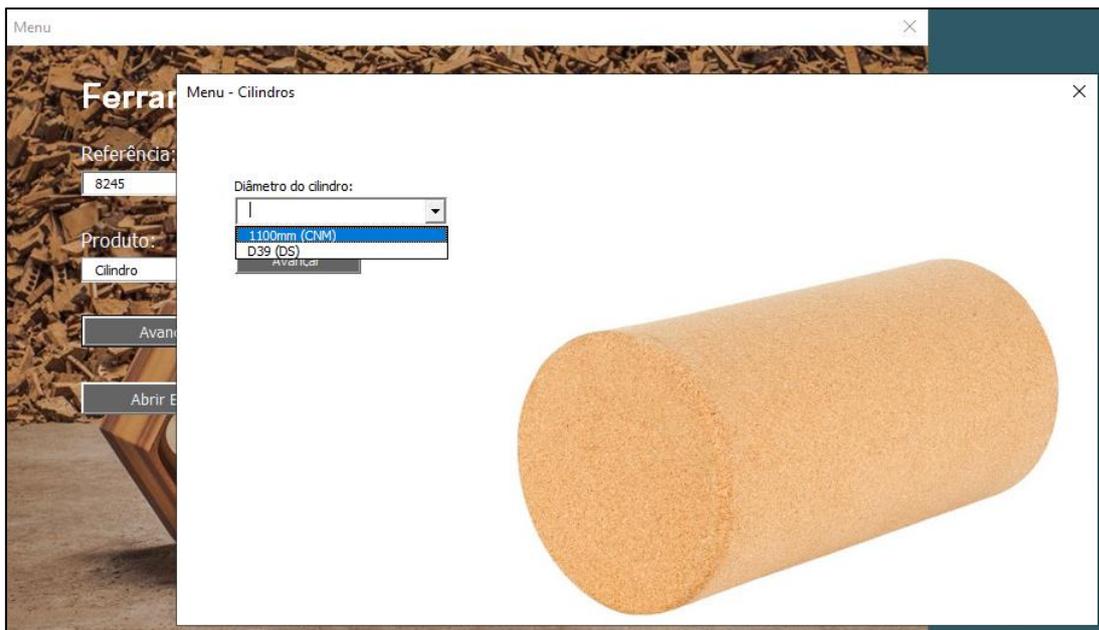


Figura 5: Menu cilindros

O utilizador deve então escolher o diâmetro/categoria do cilindro e clicar no botão Avançar. O programa apresenta a lista de alturas disponíveis para a aglomeração do cilindro.

Para a referência 8245, um cilindro da categoria CNM tem como alturas disponíveis, para se proceder à aglomeração, as representadas na Figura 6.

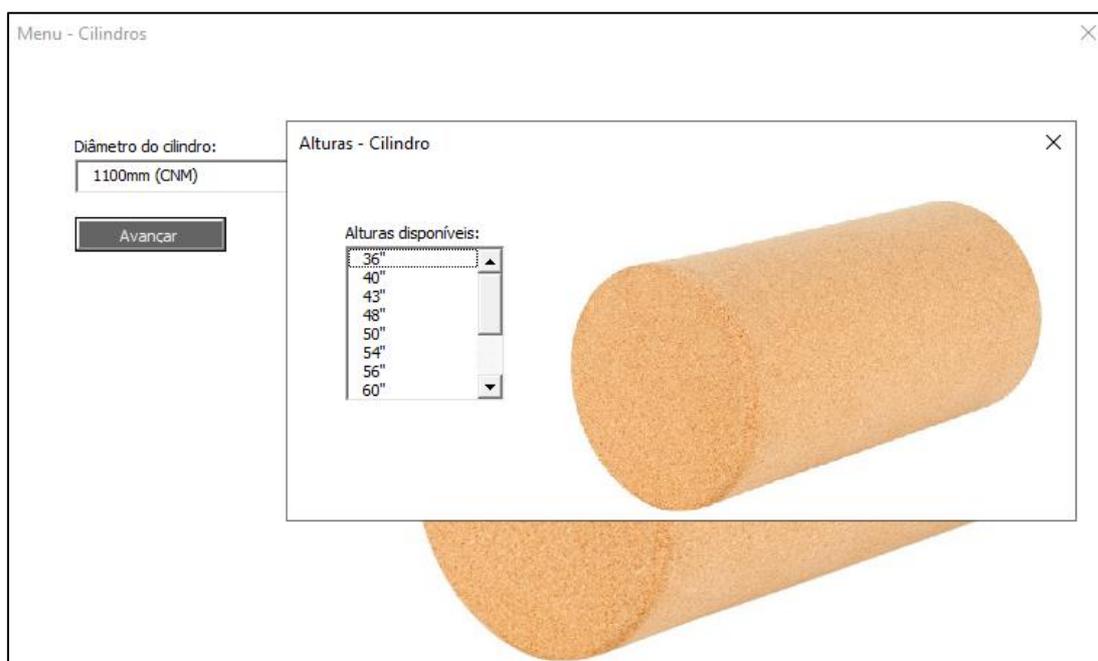


Figura 6: Menu Cilindros Alturas

2.2.4 Rolos perfilados

Quando se pretende fazer uma pesquisa de informação para se saber se um dado rolo pode ser produzido e, caso possa, quais as etapas produtivas, o utilizador deve inserir o código da referência e escolher o produto rolo no menu principal, representado na Figura 2, e clicar no botão Avançar.

Se não for possível a aglomeração de cilindros na referência escolhida, o programa emite uma mensagem de aviso a indicar que não é possível a obtenção de rolos na referência escolhida. Se for possível a aglomeração de cilindros na referência escolhida, o programa emite uma mensagem para que o utilizador indique se o rolo é perfilado ou não perfilado, como se pode ver na Figura 7.

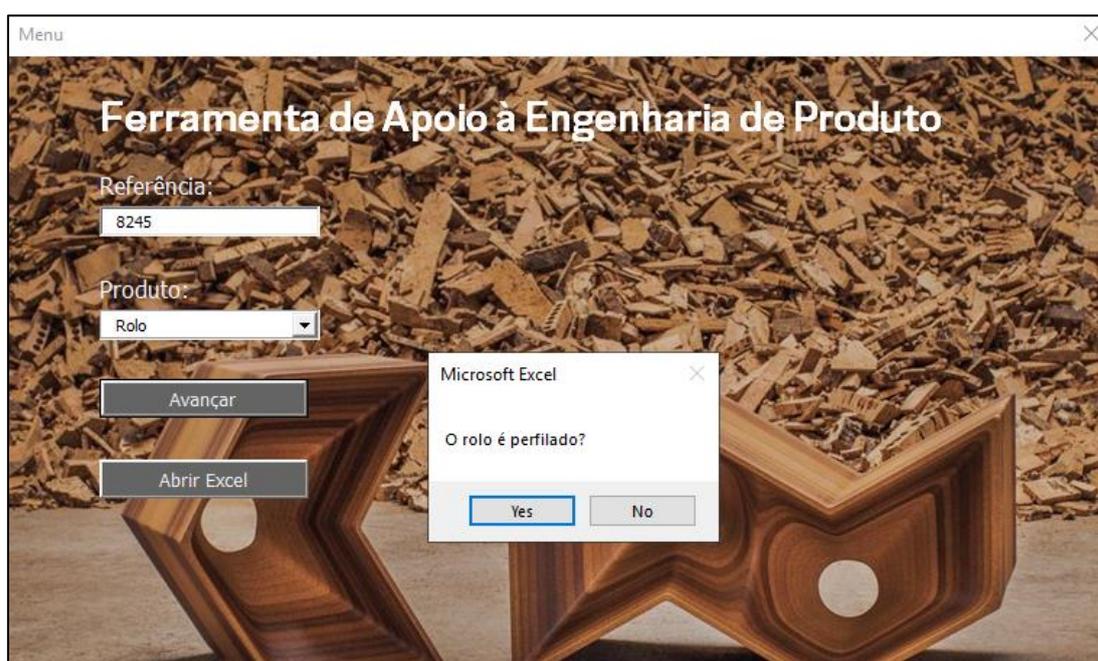


Figura 7: Identificação do tipo de rolo

Caso se selecione a opção sim, que o rolo é perfilado, a ferramenta abre um novo formulário, tal como apresentado na Figura 8. Neste novo formulário, o utilizador deve seleccionar as dimensões do tubo, assim como, o comprimento, a largura, a espessura menor e a espessura maior do rolo perfilado.

Menu - Rolos Perfilados

Rolo Perfilado

Tubo:

Comprimento (m):

Largura (mm):

Espessura menor (mm):

Espessura maior (mm):



Nota: Use vírgulas em vez de pontos para representar as casas decimais.

Figura 8: Menu Rolos Perfilados

Quando se clica no botão Avançar, o programa verifica se todos os campos estão preenchidos e se as dimensões do rolo estão dentro dos limites impostos pelas limitações técnicas dos equipamentos. Além disso, verifica se com a referência e dimensões escolhidas para o rolo, é possível a produção de mini rolos. Caso seja possível, o programa avisa o utilizador e pergunta se quer que o programa assuma o produto como um mini rolo.

Se o rolo estiver dentro dos limites dimensionais, o programa apresenta as respetivas propriedades e etapas produtivas. Se não estiver dentro dos limites dimensionais, o programa emite uma mensagem de aviso a indicar a dimensão que ultrapassa o limite.

Por exemplo, para a referência 1235, é possível a produção de um rolo perfilado de 10 metros de comprimento, 1000 milímetros de largura, 1,7 milímetros de espessura menor e 3,3 milímetros de espessura maior. Como se pode ver na Figura 9, o programa apresenta as propriedades e etapas produtivas deste rolo perfilado.

Rolo Perfilado								
Referência:	1235							
Comprimento (m):	10							
Largura (mm):	1000							
Espessura menor (mm):	1.7							
Espessura maior (mm):	3.3							
Legenda:								
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 40%;"> Cilindro que se produz em maior quantidade</div> <div style="width: 40%;"> Menor desperdício</div> </div>								
Cilindro	Emenda para aumentar o comprimento	Quantidade máxima de rolos a retirar da largura total do rolo	Laminagem de cilindros a quente ou frio	Desperdício para um rolo (mm3)	1ªEtapa	2ªEtapa	3ªEtapa	4ªEtapa
D30-43"	não	1	Laminagem a frio	4610000	LAM26; LAM27; LAM31;	Divisora	MEI01; MEI02;	-
D30-49"	não	1	Laminagem a frio	12230000	LAM26; LAM27; LAM31;	Divisora	MEI01; MEI02;	-
D30-54"	não	1	Laminagem a frio	18580000	LAM26; LAM27; LAM31;	Divisora	MEI01; MEI02;	-

Figura 9 : Propriedades e Etapas Produtivas de um Rolo Perfilado

Na primeira coluna são apresentados os cilindros a partir dos quais é possível proceder-se à transformação para a obtenção do rolo pretendido, na segunda, terceira e quarta colunas são apresentadas as características do processo de laminagem, nomeadamente, se são necessárias emendas para aumentar o comprimento do rolo, a quantidade máxima de rolos a retirar da largura total do rolo e se a laminagem deve ser feita a quente ou a frio. Ademais, na quinta coluna também é indicado o desperdício associado à utilização de cada um dos cilindros. Nas últimas colunas estão indicadas as etapas produtivas, através da indicação dos equipamentos a serem utilizados. Numa primeira fase, o cilindro deve ser laminado na laminadora 26, 27, ou 31, de seguida, deve passar pela divisora e, para concluir, o rolo deve ser rebobinado na MEI 01 ou na MEI 02 para a obtenção do comprimento final.

Na legenda a cinzento da Figura 9 é indicado qual o cilindro mais aglomerado nos últimos três anos pela empresa e a legenda a verde indica qual a opção de cilindro que acarreta menos desperdício. Neste caso, o cilindro que deve ser utilizado para a obtenção do rolo é o D30 – 43”, por ser o que acarreta menos desperdício e por ter sido o mais aglomerado nos últimos três anos.

Caso o rolo não seja perfilado, a ferramenta abre um novo formulário, tal como apresentado na Figura 10. Neste novo formulário, o utilizador deve seleccionar as dimensões do tubo, assim como, o comprimento, a largura e a espessura do rolo.



Figura 10: Menu dos rolos não perfilados

Quando o utilizador clica no botão Avançar, novamente, o programa verifica se todos os campos estão preenchidos e se as dimensões do rolo estão dentro dos limites impostos pelas limitações técnicas dos equipamentos. Assim, confirma se a espessura está dentro dos limites de laminagem do cilindro para a referência escolhida; averigua se a largura do rolo não excede o limite máximo possível e averigua se o comprimento do rolo não excede o limite máximo possível;

Além disso, verifica para a referência e dimensões escolhidas para o rolo, se é possível a produção de mini rolos. Caso seja possível, o programa avisa o utilizador e pergunta se quer que o programa assuma o rolo como um mini rolo.

Se o rolo estiver dentro dos limites dimensionais, o programa apresenta as respetivas propriedades e etapas produtivas. Se não estiver dentro dos limites dimensionais, o programa emite uma mensagem de aviso a indicar a dimensão que ultrapassa o limite.

Por exemplo, para a referência 1235, é possível a produção de um rolo perfilado de 10 m de comprimento, 1000 milímetros de largura e 2 milímetros de espessura. Como se pode ver na Figura 11, o programa apresenta as propriedades e etapas produtivas deste rolo perfilado.

Rolo Não Perfilado								
Referência:	1235							
Comprimento (m):	10							
Largura (mm):	1000							
Espessura (mm):	2							
Legenda: Cilindro que se produz em maior quantidade Menor desperdício								
Cilindro	Emenda para aumentar o comprimento	Quantidade máxima de rolos a retirar da largura total do rolo	Laminação de cilindros a quente ou frio	Desperdício para um rolo (mm ³)	1ªEtapa	2ªEtapa	3ªEtapa	4ªEtapa
D30-43"	não	1	Laminação a frio	1844000	LAM26	VSM	-	-
D30-49"	não	1	Laminação a frio	4892000	LAM26	VSM	-	-
D30-54"	não	1	Laminação a frio	7432000	LAM26	VSM	-	-

Figura 11: Propriedades e Etapas Produtivas de um Rolo Não Perfilado

Neste exemplo, para a obtenção do rolo pretendido o cilindro utilizado pode ser o D30 – 43”, o D30 – 49” ou o D30 – 54”. Sendo que, o que acarreta menos desperdício e o mais aglomerado nos últimos três anos foi o D30 – 43”. O cilindro deve ser laminado na laminadora 26 para depois ser rebobinado e embalado diretamente nas linhas de rebobinagem e embalagem automática.

2.2.5 Placas

Quando se pretende fazer uma pesquisa de informação para se saber se uma placa pode ser produzida e, caso possa, as propriedades e etapas produtivas respetivas, o utilizador deve inserir o código da referência e escolher o produto placa no menu principal, representado na Figura 2.

Se não for possível a aglomeração de cilindros nem blocos na referência escolhida, o programa emite uma mensagem de aviso de que não é possível a obtenção de placas na referência escolhida. Se for possível a aglomeração de cilindros e/ou blocos na referência escolhida, o programa emite uma mensagem para que o utilizador indique se a placa é perfilada ou não perfilada.

Se o utilizador pretender uma placa perfilada e não for possível a aglomeração de cilindros na referência escolhida, o programa avisa o utilizador de que não é possível a produção da placa pretendida. Se o utilizador pretender uma placa perfilada e for possível a aglomeração de cilindros na referência escolhida, o programa abre o formulário representado na Figura 12.

Neste formulário, o utilizador indica o comprimento, a largura, a espessura menor e a espessura maior da placa perfilada.

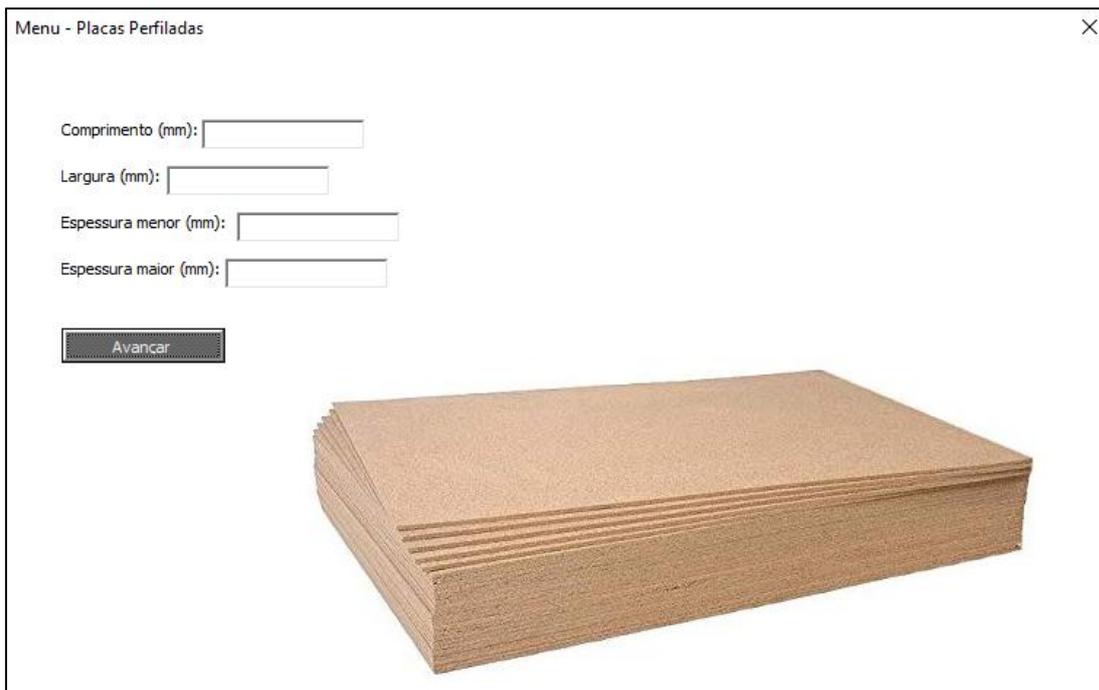


Figura 12: Menu das placas perfiladas

Quando o utilizador clica no botão Avançar, o programa verifica se todos os campos estão preenchidos e se as dimensões da placa estão dentro dos limites impostos pelas limitações técnicas dos equipamentos. Assim, confirma se a soma da espessura maior com a espessura menor está dentro dos limites de laminagem do cilindro para a referência escolhida, se a largura da placa não excede o limite máximo ou mínimo possíveis e se as regras inerentes aos rolos perfilados são cumpridas.

Se a placa perfilada estiver dentro dos limites dimensionais, o programa apresenta as respetivas propriedades e etapas produtivas. Se não estiver dentro dos limites dimensionais, o programa emite uma mensagem de aviso a indicar a dimensão que ultrapassa o limite.

Por exemplo, para a referência 1235, é possível a produção de uma placa perfilada de 900 milímetros de comprimento, 600 milímetros de largura, e 2 milímetros de espessura menor e 4 milímetros de espessura maior. Como se pode ver na Figura 13, o programa apresenta as propriedades e etapas produtivas desta placa perfilada.

Placa Perfilada								
Referência:	1235							
Comprimento (mm):	900							
Largura (mm):	600							
Espessura menor (mm):	2							
Espessura maior (mm):	4							
Retornar ao Menu								
Legenda:								
Bloco/Cilindro que se produz em maior quantidade								
Menor desperdício								
DiâmetroCIL	AlturaCIL	N.º de rolos a laminar de cada vez para um menor desperdício lateral	Largura do rolo (mm)	Comprimento (mm)	Desperdício na obtenção de uma placa (mm ³)	1ª Etapa	2ª Etapa	3ª Etapa
D30	43"	1	900	600	691920	LAM26; LAM27; LAM31;	Divisora	MEI01; MEI02
D30	49"	2	600	900	240840	LAM26; LAM27; LAM31;	Divisora	MEI01; MEI02
D30	54"	2	600	900	926640	LAM26; LAM27; LAM31;	Divisora	MEI01; MEI02

Figura 13: Propriedades e Etapas Produtivas de uma Placa Perfilada

Neste exemplo, para a obtenção da placa perfilada pretendida o cilindro utilizado pode ser o D30 - 43", o D30 - 49", ou o D30 - 54". O que acarreta menos desperdício é o D30 - 49" e o mais utilizado nos últimos três anos foi o D30 - 43". Primeiro o cilindro deve ser laminado na laminadora 26, 27, ou 31, depois deve ser perfilado na divisora e, por fim, rebobinado e embalado na MEI 01, ou na MEI 02.

Caso a placa não seja perfilada, a ferramenta abre um novo formulário, tal como apresentado na Figura 14. Neste novo formulário, o utilizador indica o comprimento, a largura e a espessura menor da placa.

Menu - Placas Não Perfiladas ✕

Comprimento (mm):

Largura (mm):

Lixagem:

Espessura (mm):



Figura 14: Menu das placas não perfiladas

Como já foi mencionado anteriormente, o programa primeiro averigua se é possível a obtenção da placa pela transformação de blocos, uma vez que é um processo menos dispendioso, a partir da referência escolhida, ou a partir de uma referência alternativa. Caso as dimensões da placa excedam as dimensões dos moldes dos blocos, ou a referência não permita a aglomeração de cilindros, nem uma referência alternativa, então a placa só poderá ser obtida pela transformação de cilindros em rolos, e os rolos em placas.

O programa verifica se todos os campos estão preenchidos e se as dimensões da placa estão dentro dos limites impostos pelas limitações técnicas dos equipamentos.

Se a placa estiver dentro dos limites dimensionais, o programa apresenta as respetivas propriedades e etapas produtivas. Se não estiver dentro dos limites dimensionais, o programa emite uma mensagem de aviso a indicar a dimensão que ultrapassa o limite.

Por exemplo, para a referência 8006, é possível a produção de uma placa de 900 milímetros de comprimento, 600 milímetros de largura, 10 milímetros de espessura e acabamento 02, ou seja, lixagem só de uma face. Como se pode ver na Figura 15, o programa apresenta as propriedades e as etapas produtivas desta placa.

Placa Não Perfilada

Referência: 8006
 Comprimento (mm): 900
 Largura (mm): 600
 Espessura (mm): 10
 Lixagem: 02

Legenda:
 Bloco/Cilindro que se produz em maior quantidade
 Menor desperdício

Retomar ao Menu

Bloco	Nº Peças	Quantidade mínima de encomenda	Desperdício (m3)	1ª Etapa:	2ª Etapa:	3ª Etapa:
				Retificadora	LAM 03, 05, 07, 08, 12, ou 13 (CNM)	LIX 05 e LIX 08
BL1 - 940x640x250mm	1	23	23192000	Corte em comprimento = 900mm Corte em largura = 600mm	Laminar 10,3 mm de espessura	Lixar 0,3 mm de espessura
BL2 - 950x650x200mm	1	18	20125000	Corte em comprimento = 900mm Corte em largura = 600mm	Laminar 10,3 mm de espessura	Lixar 0,3 mm de espessura
BL3Ingles - 950x650x210mm	1	19	20900000	Corte em comprimento = 900mm Corte em largura = 600mm	Laminar 10,3 mm de espessura	Lixar 0,3 mm de espessura

Figura 15: Propriedades e Etapas Produtivas de uma Placa

Neste exemplo, para a obtenção da placa pretendida os blocos utilizados podem ser o BL1, BL2 ou o BL3I. O que acarreta menos desperdício é o BL2 e o que se produz em maior quantidade é o BL1. A tabela indica também o número de placas que se consegue extrair de cada tipo de bloco. Numa primeira fase, o cilindro deve ser cortado em comprimento e largura na retificadora. De seguida, laminado 10,3 milímetros em espessura e, por fim, lixado em 0,3 milímetros de

espessura para a obtenção da placa de 10 milímetros de espessura, lixada apenas numa das faces.

2.2.6 Folha curada à espessura

Quando se pretende fazer uma pesquisa de informação para se saber se uma FCE pode ser produzida e, caso possa, as propriedades e etapas produtivas respetivas, o utilizador deve inserir o código da referência e escolher o produto FCE no menu.

Se não for possível a aglomeração de FCE na referência escolhida, o programa emite uma mensagem de aviso de que não é possível a obtenção de FCEs na referência escolhida. Se for possível a aglomeração de FCE na referência escolhida, o programa abre o formulário, apresentado na Figura 16.

Neste formulário, o utilizador deve indicar o comprimento, a largura e a espessura da FCE.



The image shows a software dialog box titled "Menu - FCEs". Inside the dialog, the title "FCEs" is centered at the top. Below the title, there are three input fields stacked vertically, each with a label to its left: "Comprimento (m):", "Largura (mm):", and "Espessura (mm):". Each label is followed by a white rectangular input box. At the bottom of the dialog, there is a dark grey button with the text "Avançar" in white. The dialog box has a standard window border with a close button (an 'X' icon) in the top right corner.

Figura 16: Menu das FCEs

O programa verifica se todos os campos estão preenchidos e se as dimensões da FCE estão dentro dos limites impostos pelas limitações técnicas dos equipamentos.

Se a FCE estiver dentro dos limites dimensionais, o programa apresenta as respetivas propriedades e etapas produtivas. Se não estiver dentro dos limites dimensionais, o programa emite uma mensagem de aviso.

Por exemplo, para a referência 1047, é possível a produção de uma FCE de 1000 milímetros de comprimento, 800 milímetros de largura e 5 milímetros de espessura. Como se pode ver na Figura 17, o programa apresenta as propriedades e as etapas produtivas desta FCE.

FCE				
Referência: 1047				
Comprimento (mm): 1000				
Largura (mm): 800				
Espessura (mm): 5				
Retomar ao Menu				
FCEs	Desperdício (mm ³)	Corte em espessura (mm)	Corte em largura (mm)	Corte em comprimento (mm)
1200x1200x13,5mm	15440000	LAM 020, LAM 021, ou LAM 028	Jato de água	Jato de água
1200x1200x14,5mm	16880000	LAM 020, LAM 021, ou LAM 028	Jato de água	Jato de água

Figura 17: Propriedades e Etapas Produtivas de uma FCE

A FCE utilizada pode ser a de dimensões 1200x1200x13,5mm ou a de 1200x1200x14,5mm. A que acarreta menos desperdício é a primeira. Para se proceder ao corte em espessura, a FCE deve ser laminada na laminadora 30, 21 ou 28 e para o corte em comprimento e largura deve ser utilizado o jato de água.

3 SIMULAÇÃO DAS LINHAS DE REBOBINAGEM E EMBALAGEM AUTOMÁTICA DE ROLOS DE AGLOMERADO COMPOSTO

Numa primeira fase, apresenta-se a área em estudo, com a descrição dos objetos e entidades utilizados para representar o sistema. Posteriormente, apresenta-se a tabela de interface que faz a ponte dos dados inseridos pelo utilizador com a simulação.

3.1 Apresentação do sistema

Para a elaboração da simulação, representou-se o sistema com objetos e entidades. A Figura 18 mostra a representação do layout das linhas de rebobinagem e embalagem automática de rolos de aglomerado composto.

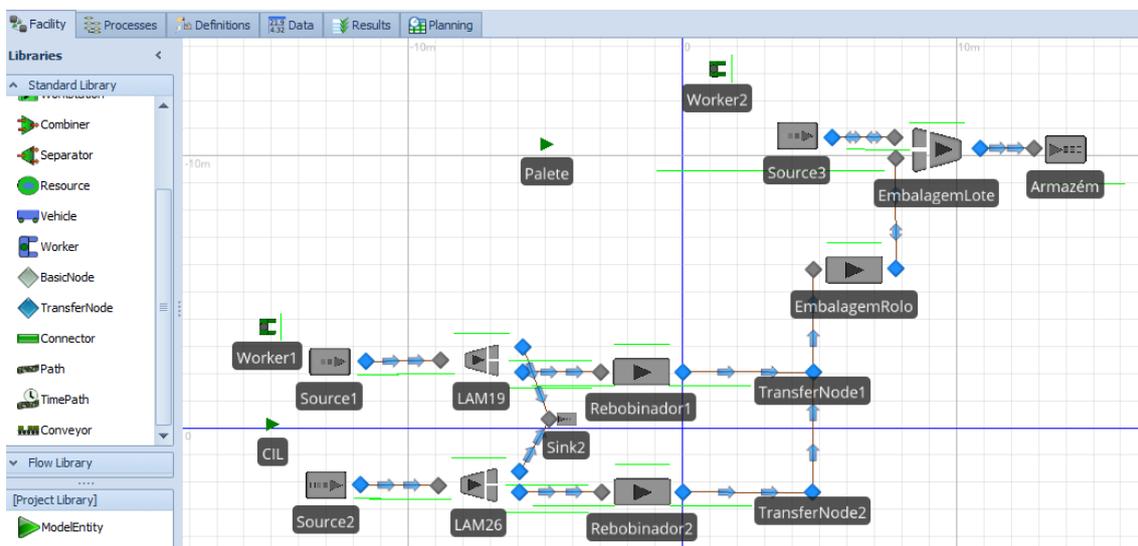


Figura 18: Representação do sistema através de objetos e entidades

Criaram-se duas entidades, a entidade CIL e a entidade Palete, que representam, nomeadamente, cilindros e paletes. O Source1 e o Source2 criam entidades do tipo CIL que depois são conduzidas até aos *Separators* LAM1 ou LAM2, que representam as laminadoras. O Worker1 realiza as operações de *setup* em cada uma das laminadoras e como produto resultante do processo de laminagem, forma-se um rolo contínuo e desperdício. O desperdício segue para o Sink1 e o rolo é dirigido para o *Server* Rebobinador1 ou Rebobinador2, onde os rolos são enrolados no comprimento pretendido. De seguida, os rolos atravessam os *Conveyors*, tapetes rolantes, até à zona de embalagem. Aqui, primeiramente os rolos são embalados individualmente pelo Worker2 no *Server* EmbalagemRolo e, de seguida, o Worker2 transporta um rolo de cada vez até ao

Combiner EmbalagemLote. O Source3 cria entidades do tipo Palete. Quando se reúnem o número de rolos necessários para formar um lote, o Worker2 embala o lote no *Combiner* EmbalagemLote. Por fim, os lotes são recolhidos e colocados no armazém e o fluxo termina no *Sink* Armazém.

3.2 Tabela de interface

O funcionamento e balanceamento do sistema em estudo depende das dimensões finais do rolo, do tipo de embalagem e do número de rolos que cada paleta leva. Esses parâmetros influenciam o funcionamento de toda a linha.

Uma vez que existem parâmetros que influenciam o funcionamento de todo o sistema, surgiu a necessidade de se criar uma tabela de interface, que fizesse a ponte dos dados inseridos pelo utilizador, que variam conforme os pedidos de produção, com a simulação. Desta forma, foi criada a Table1, representada na Figura 19.

	Espeçura (mm)	Comprimento (m)	Rolos por paleta	Embalagem com Plástico	Embalagem com Cartão	Embalagem com Caixa	Embalagem paleta com fita envolvente
1	4	40	10	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
*				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figura 19: Tabela de interface

O utilizador tem de inserir a espessura e comprimento do rolo pretendido, variáveis reais, tem de escolher quantos rolos leva cada paleta, variável inteira, tem de escolher se a embalagem dos rolos é feita em plástico, cartão ou caixa, variáveis booleanas, e se a embalagem da paleta leva ou não fita envolvente, variável booleana também. A partir destas variáveis o programa calcula outras variáveis através de expressões matemáticas para a correta representação do sistema na simulação.