



SISTEMA DE APOIO À DECISÃO PARA A MELHORIA DOS FLUXOS DE MATERIAIS DE UMA EMPRESA INDUSTRIAL

VÍTOR HUGO FERREIRA DA SILVA

outubro de 2018

SISTEMA DE APOIO À DECISÃO PARA A MELHORIA DOS FLUXOS DE MATERIAIS DE UMA EMPRESA INDUSTRIAL

Vitor Hugo Ferreira da Silva



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Instituto Superior de Engenharia do Porto

2018

Este relatório satisfaz, parcialmente, os requisitos que constam da Ficha de Unidade Curricular de Tese/Dissertação, do 2º ano, do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, ramo de Sistemas e Planeamento Industrial

Candidato: Vitor Hugo Ferreira da Silva, Nº 1130630, 1130630@isep.ipp.pt

Orientação científica: Professor Doutor Luís Pinto Ferreira, lpf@isep.ipp.pt

Empresa: Duvalli Mattress Ticking S.A.

Orientador: Engenheira Adelaide Rodrigues, planeamento@duvalli.com



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Instituto Superior de Engenharia do Porto

2018

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a todos aqueles que de uma forma ou de outra me ajudaram e tornaram possível a realização desta dissertação.

À empresa Duvalli Mattress Ticking pela oportunidade dada, com especial apreço pela pessoa que me orientou, Engenheira Adelaide Rodrigues, pela paciência e disponibilidade durante a recolha dos dados necessários. À líder do turno da manhã na produção de malhas, Patrícia, e o operador da máquina de abertura de malhas, Fábio Cardoso, pelo apoio prestado durante o período de recolha de dados.

Ao Professor Doutor Luís Pinto Ferreira por ter aceite orientar o meu trabalho, pela incrível disponibilidade, vontade e preocupações demonstradas.

Aos meus pais e ao meu irmão, pela motivação dada e pelo apoio que demonstraram durante todo o meu percurso académico.

E, por fim, mas não menos importantes aos meus grandes amigos que me ouviram e ajudaram em algum momento, Diogo, Sérgio, Rafa, Sofia e Afonso.

O meu mais sincero obrigado a todos.

Resumo

Atualmente, a competitividade industrial é uma máxima na sociedade, sendo que, para o sucesso de uma empresa, a sua organização interna é crucial. Assim, a procura por melhorar os seus processos, sejam eles administrativos, produtivos, logísticos ou outros, é uma constante. A simulação, ponto de interesse deste trabalho, é uma ferramenta, apesar da sua complexidade, destinada a facilitar a tomada de decisão por parte do utilizador perante a possibilidade de existência de uma ou mais soluções para a melhoria desses processos.

Neste sentido, a presente dissertação foi realizada em contexto industrial na empresa Duvalli Mattress Ticking, onde se procurou desenvolver um modelo de simulação relativo à produção de malhas e damascos, com o intuito de testar diferentes estratégias de controlo para os fluxos de materiais desde o armazém de matérias primas até ao armazém de produto acabado e, assim, avaliar o impacto destas estratégias sobre o sistema atual da empresa. Foi desenvolvida uma interface gráfica, cujo objetivo passa por dar ao utilizador a possibilidade de variar certos parâmetros de entrada e determinar qual a estratégia a implementar para uma posterior avaliação.

A ferramenta de apoio à decisão foi construída tendo por base dados recolhidos de cinco setores da fábrica: armazém de matéria prima, produção de malhas, produção de damascos, acabamentos e armazém de produto acabado. A sua validação foi realizada com os dados relativos a uma semana de produção para os dois tipos de produto.

De uma forma geral, o sistema desenvolvido cumpriu os objetivos a que foi sujeito, tendo todas as cinco estratégias desenvolvidas mostrado resultados positivos, aumentando a produção de malhas em até 7%, a produção de damascos em até 43% e diminuindo o tempo de espera para a entrada na área de acabamentos em 75%, quando comparadas com o sistema atual da empresa.

Palavras-Chave

Simulação, Estratégias de Controlo, Fluxos Materiais, ARENA

Abstract

Currently, industrial competitiveness is a maximum in society, and for the success of a company, its internal organization is crucial. Thus, the demand to improve their processes, be they administrative, productive or logistic is a constant. The simulation, point of interest of this work, is a tool, despite its complexity, intended to facilitate the decision making of the user, when faced with the possibility of one or more solutions for the improvement of these processes.

In this sense, the present dissertation was carried out in an industrial context in the company Duvalli Mattress Ticking, where a simulation model regarding the production of knits and fabrics was developed, to test different control strategies for material flows from the warehouse of raw materials to the finished product warehouse and thus evaluate the impact of these strategies on the company's current system. A graphical interface was developed, whose objective was to give the user the possibility to vary certain input parameters and to determinate which strategy to implement for a later evaluation.

The decision support tool was built based on data collect from five sectors of the plant: raw material warehouse, knit production, fabrics production, finishing works and finished product warehouse. Its validation was carried out with data related to one week of production for the two types of product.

In general, the developed system fulfilled the objectives to which it was subjected, with all five strategies developed showing positive results, increasing knit and fabrics production by up to 7% and 43%, respectively, and decreasing waiting time when entering into the finishing works area by 75% when compared to the current system of the company.

Keywords

Simulation, Control Strategies, Flow of Materials, ARENA

Índice

AGRADECIMENTOS	V
RESUMO	VI
ABSTRACT	VII
ÍNDICE	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE TABELAS	XV
ACRÓNIMOS	XVII
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO DO TRABALHO	1
1.2. OBJETIVOS	2
1.3. METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO	2
1.4. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA DUVALLI MATTRESS TICKING	3
1.5. CONTEÚDO E ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	4
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DA LITERATURA	7
2.1. FLUXOS MATERIAIS	8
2.1.1. <i>Supermercados</i>	8
2.1.2. <i>Mizusumashi</i>	9
2.1.3. <i>Sincronização</i>	9
2.1.4. <i>Nivelamento</i>	10
2.1.5. <i>Planeamento Pull</i>	10
2.2. SIMULAÇÃO INDUSTRIAL	10
2.2.1. <i>Vantagens e Desvantagens da Simulação</i>	13
2.2.2. <i>Fases de um projeto de simulação</i>	14
2.2.3. <i>Simulação No Sector da Produção Industrial</i>	16
2.2.4. <i>Simulação noutros Sectores de Aplicação</i>	21
2.2.5. <i>A Linguagem de Simulação Arena</i>	23
3. DESCRIÇÃO DO SISTEMA REAL	24
3.1. MAPEAMENTO DOS FLUXOS MATERIAIS	24
3.1.1. <i>Armazém de Matéria Prima</i>	25
3.1.2. <i>Produção de Malhas</i>	26
3.1.3. <i>Produção de Damascos</i>	28
3.1.4. <i>Acabamentos de Malhas</i>	29
3.1.5. <i>Acabamentos de Damascos</i>	32

3.1.6.	<i>Armazém de Expedição</i>	33
3.2.	FORMULAÇÃO DO PROBLEMA.....	34
3.3.	DEFINIÇÃO DE ESTRATÉGIAS A IMPLEMENTAR	34
3.4.	RECOLHA E TRATAMENTO DE DADOS	35
3.4.1.	<i>Armazém de Matéria Prima</i>	36
3.4.2.	<i>Produção de Malhas</i>	37
3.4.3.	<i>Produção de Damascos</i>	38
3.4.4.	<i>Acabamentos</i>	39
3.4.5.	<i>Armazém de Produto Acabado</i>	40
3.4.6.	<i>Análise dos Dados Recolhidos</i>	40
4.	SISTEMA DE APOIO À DECISÃO PARA MELHORIA DOS FLUXOS	41
4.1.	SISTEMA DE APOIO À DECISÃO.....	41
4.2.	ANIMAÇÃO.....	47
4.3.	MODELO LÓGICO	49
5.	VALIDAÇÃO DO SISTEMA DE APOIO À DECISÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS	59
5.1.	VALIDAÇÃO DO MODELO DESENVOLVIDO	59
5.2.	ANÁLISE DE RESULTADOS.....	60
5.2.1.	<i>Estratégia 1 – Prioridade por Tipo de Artigo</i>	60
5.2.2.	<i>Estratégia 2 – Prioridade por Tamanho da Fila de Espera</i>	61
5.2.3.	<i>Estratégia 3 – Melhoria dos Fluxos de Materiais em Pontos Críticos</i>	62
5.2.4.	<i>Estratégia 4 – Crossover Entre as Estratégias 1 e 3</i>	63
5.2.5.	<i>Estratégia 5 – Crossover Entre as Estratégias 2 e 3</i>	63
5.2.6.	<i>Comparação entre Estratégias de Controlo</i>	64
6.	CONCLUSÃO E TRABALHO FUTURO	66
6.1.	TRABALHO REALIZADO	66
6.2.	CONTRIBUTOS CIENTÍFICOS	68
6.3.	DIFICULDADES ENCONTRADAS	68
6.4.	PERSPETIVAS DE TRABALHO FUTURO	68
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
	ANEXOS	75
	ANEXO A. PREPARAÇÃO DOS CONES PARA PRODUÇÃO DE MALHA - DADOS	75
	ANEXO B. PRODUÇÃO DE MALHAS - DADOS	76
	ANEXO C. ABERTURA DE MALHAS – DADOS	80
	ANEXO D. HOT-MELT – DADOS	81
	ANEXO E. SAÍDA DOS ROLOS NAS MÁQUINAS RAMETA E RÁMULA – DADOS	82
	ANEXO F. REVISTA DE MALHA E DAMASCOS – DADOS.....	83
	ANEXO G. ARMAZÉM DE PRODUTO ACABADO – PALETIZAÇÃO – DADOS.....	84
	ANEXO H. PROCESSO DE PREPARAÇÃO DA TEAR DE DAMASCOS	85
	ANEXO I. ARTIGO PRESENTE NO ENEGI2018	86

Índice de Figuras

Figura 1 - Duvalli Mattress Ticking.....	3
Figura 2 - Lista de Fibras e Acabamentos da Duvalli.....	4
Figura 3 - Exemplo de Supermercado (Haysman, 2016).....	8
Figura 4 - Comboio Logístico e <i>Mizusumashi</i> (Leanop, 2018).....	9
Figura 5 - Exemplo de Sistema <i>Push</i> vs Sistema <i>Pull</i> (Plex, 2017).....	10
Figura 6 - Numero de Publicações Relativas à Simulação (Mourtzis <i>et al.</i> , 2014).....	11
Figura 7 - Etapas de um Projeto de Simulação (Law, 2007).....	15
Figura 8 - Popularidade por Tipo de Ferramenta de Simulação (Dias <i>et al.</i> , 2016).....	23
Figura 9 - Mapa do Fluxo de Materiais (VSM) da Empresa Duvalli Mattress Ticking.....	25
Figura 10 - Prateleiras do Armazém de Matéria Prima.....	26
Figura 11 - Teia para Produção de Damascos.....	26
Figura 12 - <i>Kanban</i> para Controlo da Produção.....	27
Figura 13 - Exemplo de Tear Circular Usado para Produção de Malhas.....	27
Figura 14 - Exemplo de Tear Reta Usada para Produção de Damascos.....	28
Figura 15 - Fluxograma sobre o Funcionamento dos Acabamentos de Malhas.....	29
Figura 16 - Exemplo da Máquina de Abertura de Malha.....	30
Figura 17 - Exemplo da Máquina Rámula para Acabamentos Standard.....	30
Figura 18 - Exemplo da Máquina <i>Hot-Melt</i> para Aplicação da Vieseline.....	31
Figura 19 - Exemplo de Máquina para Revista de Malhas.....	31
Figura 20 - Exemplo de Máquina para Embalamento do Produto Acabado.....	31
Figura 21 - Fluxograma sobre o Funcionamento dos Acabamentos de Damascos.....	32
Figura 22 - Exemplo de Máquina para Revista de Damascos.....	33
Figura 23 - <i>Input Analyzer</i> – Exemplo de Distribuição do Processo de Abertura de Malha.....	40
Figura 24 - Fluxo de Informação para Funcionamento da Interface Gráfica Desenvolvida.....	42
Figura 25 - Interface Gráfica – Capa.....	43
Figura 26 - Interface Gráfica – <i>Presentation</i>	43
Figura 27 - Interface Gráfica - <i>Strategy Definition</i>	44
Figura 28 - Interface Gráfica - <i>Strategy 1 – Parametrization</i>	45
Figura 29 - Interface Gráfica - <i>Parametrization - Knitting Production</i>	46
Figura 30 - Interface Gráfica - <i>Parametrization - Fabrics production</i>	46
Figura 31 - Interface Gráfica - <i>Parametrization - Finishing Works</i>	47
Figura 32 - Exemplo de Animação do Modelo Desenvolvido.....	48
Figura 33 - Modelo de Simulação Desenvolvido com Recurso ao <i>Software ARENA</i>	49
Figura 34 - Exemplo da Realização da Produção de Malhas do Tipo Regilha.....	50

Figura 35 - Exemplo do Bloco <i>Create</i> da Malha do Tipo Regilha.....	50
Figura 36 - Exemplo do Bloco <i>Station</i> Referente às Regilhas.	51
Figura 37 - Exemplo do Bloco <i>Process</i> para a Preparação de Regilhas.....	51
Figura 38 - Exemplo de Bloco <i>Hold</i> para a Produção de Regilhas.	52
Figura 39 - Exemplo de Bloco <i>Separate</i> para Produção de Regilhas.....	52
Figura 40 - Exemplo de Bloco <i>Record</i> para Produção de Regilhas.	53
Figura 41 - Exemplo de Bloco <i>Route</i> para Produção de Regilhas.....	53
Figura 42 - Exemplo do Processo Relativo à Pré-revista de Malha.	54
Figura 43 - Exemplo do Processo Relativo à Abertura de Malhas.....	54
Figura 44 - Exemplo do Bloco <i>Hold</i> para o Uso da Estratégia 1.	55
Figura 45 - Exemplo de Bloco <i>Batch</i> no Processo de Abertura de Malha.	55
Figura 46 - Exemplo do Bloco <i>Decide</i> para o Processo de Abertura de Malhas.....	56
Figura 47 - Exemplo do Processo Relativo aos Acabamentos de Malhas/Damascos.	56
Figura 48 - Exemplo de Processo Relativo aos Acabamentos <i>Standard</i> (Rámula).....	57
Figura 49 - Exemplo de Processo para a Máquina de Aplicação de Vieseline (Hot-Melt).....	57
Figura 50 - Exemplo de Revista de Malhas e Damascos.	58
Figura 51 - Exemplo de Processo de Embalamento e Expedição da Empresa Duvalli.....	58
Figura 52 - Valores Comparativos entre o Sistema Real e a Estratégia 1.	61
Figura 53 - Valores Comparativos entre o Sistema Real e a Estratégia 2.	61
Figura 54 - Valores Comparativos entre o Sistema Real e a Estratégia 3.	62
Figura 55 - Valores Comparativos entre o Sistema Real e a Estratégia 4.	63
Figura 56 - Valores Comparativos entre o Sistema Real e a Estratégia 5.	64
Figura 57 - Comparação entre Estratégias de Controlo.....	65

Índice de Tabelas

Tabela 1	- Conceitos de Simulação.....	11
Tabela 2	- Exemplos da Aplicação da Simulação na Área da Produção.....	17
Tabela 3	- Exemplos da Aplicação da Simulação noutras Áreas.....	21
Tabela 4	- Validação do Modelo de Simulação.....	60
Tabela 5	- Resultados da Avaliação de Desempenho Realizada.....	67
Tabela 6	- Preparação dos Cones para Produção de Malhas.....	75
Tabela 7	- Tempo de Preparação das Máquinas (Retirar e Colocar Cones).....	76
Tabela 8	- Tempo de Preparação das Máquinas (Retirar e Colocar Cones) – Continuação.....	77
Tabela 9	- Tempo de Preparação das Máquinas (Afinação e Inicialização).....	78
Tabela 10	- Tempo de Preparação das Máquinas (Afinação e Inicialização) – Continuação.....	79
Tabela 11	- Tempo da Pré-Revista de Malhas.....	79
Tabela 12	- Tempo Relativos à Abertura de Malhas.....	80
Tabela 13	- Tempo Relativos à Hot-Melt.....	81
Tabela 14	- Tempo Relativos à Rameta e à Rámula.....	82
Tabela 15	- Tempo Relativos à Revista de Malhas e Damascos.....	83
Tabela 16	- Tempo Relativos à Paletização.....	84

Acrónimos

- ABM – *Agent-based Model*
- AM – *Additive Manufacturing*
- DSS – *Decision Support System*
- JIT – *Just-in-Time*
- MRP – *Manufacturing Resource Planning*
- RPM – *Rotações por Minuto*
- TEDI – *Tese/Dissertação*
- UAV – *Unmanned Aerial Vehicle*
- VBA – *Visual Basic for Applications*
- VSM – *Value Stream Mapping*
- WWW – *World Wide Web*

1. INTRODUÇÃO

O primeiro capítulo é referente à introdução do tema do trabalho desenvolvido, incluindo o seu enquadramento, objetivos e metodologias de investigação abordadas, tendo sido realizado em ambiente empresarial na empresa Duvalli S.A..

1.1. ENQUADRAMENTO DO TRABALHO

Num período em que a otimização se mostra como uma ferramenta obrigatória no seio de uma empresa, quer nas suas áreas produtivas, quer nas suas áreas administrativas, como forma a se tornar mais competitiva num mundo onde a excelência prevalece, tem-se observado uma maior utilidade e utilização para a simulação como forma de validar ou refutar medidas possíveis para a melhoria de processos dentro de uma corporação.

De facto, a simulação pode ser definida como uma ferramenta de apoio à decisão que permite modelar e analisar o desempenho de sistemas e processos complexos (Ferreira *et al.*, 2012).

O trabalho aqui apresentado enquadra-se no âmbito da unidade curricular de Tese e Dissertação (TEDI) do Curso de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, no ramo de Sistema e Planeamento Industrial, tendo sido realizado durante o estágio curricular na empresa Duvalli S.A., entre 23 de Outubro 2017 e 23 de Maio de 2018, concretamente, no departamento de planeamento da produção, onde se pretendia procurar melhorar os processos relativos ao fluxo de materiais dentro da empresa, através da simulação.

1.2. OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo a análise e melhoria do processo de abastecimento de diferentes secções da empresa Duvalli. Para isso, foi desenvolvida uma ferramenta de apoio à decisão baseada em modelos de simulação, utilizando o *software* de simulação ARENA, que permita ao utilizador testar e analisar o impacto que diferentes estratégias de controlo de abastecimento irão ter no desempenho da empresa, tendo como suporte os seguintes pontos:

- Mapeamento dos processos de produção e de armazenagem da empresa;
- Desenvolvimento de uma ferramenta de apoio à decisão para melhoria dos fluxos;
- Validação da ferramenta desenvolvida;
- Identificação das melhores políticas de abastecimento às secções de teares circulares, retangulares e de acabamentos;
- Análise de resultados.

1.3. METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO

A metodologia de investigação delineada para realizar o cumprimento dos objetivos propostos é composta por cinco fases, sendo elas:

- Fase I - Revisão bibliográfica na área da simulação industrial.

Foi realizada uma pesquisa sobre a literatura existente sobre a simulação como ferramenta de apoio à decisão, as etapas necessárias para o desenvolvimento de um projeto de simulação e como maximizar a sua implementação.

- Fase II - Recolher indicadores dos Departamentos de Produção, de Acabamento e do Armazém da empresa, tendo em vista perceber as suas políticas de abastecimento.

Tendo em conta o aprendizado retido da fase anterior, aqui, é feito um levantamento dos dados inerentes ao método de trabalho da empresa, como por exemplo, o mapeamento dos processos de produção, através de fluxogramas, o modo de utilização das máquinas, tempos e velocidades a si afetos, entre outros.

- Fase III – Análise dos dados recolhidos e propostas de solução para os problemas encontrados.

Nesta fase é feita uma análise aos dados recolhidos de forma a avaliar os principais pontos ou locais onde se firmam os problemas e, à posteriori, propor soluções de melhoria dos processos atuais.

- Fase IV – Desenvolvimento da ferramenta de apoio à decisão e implementação das estratégias delineadas.

Esta fase compreende o desenvolvimento do modelo que descreve o funcionamento atual da empresa, assim como a implementação das estratégias que procuram melhorar os seus fluxos de materiais.

- Fase V – Validação do modelo e análise dos resultados obtidos.

Para finalizar, nesta fase é dada a validação do modelo como uma representação o mais próxima possível do sistema real e é feita uma análise aos resultados obtidos como forma de avaliar se as estratégias desenvolvidas são passíveis de ser implementadas ou não.

1.4. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA DUVALLI MATTRESS TICKING

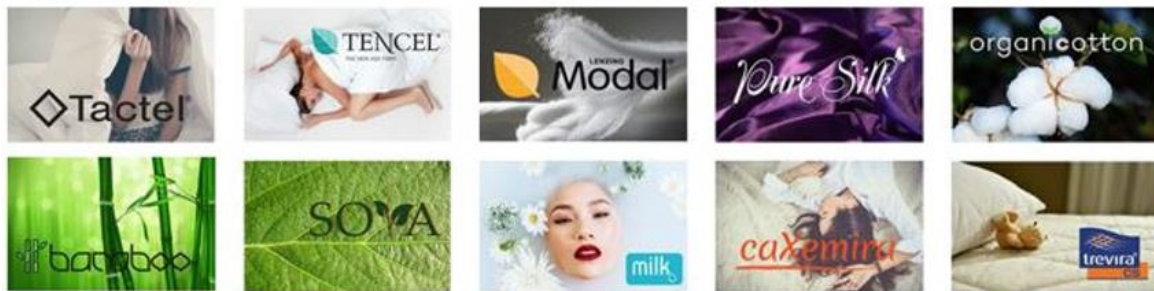
A Duvalli (ver Figura 1) é uma empresa fundada em 2001, situada em Santa Maria da Feira (<http://www.duvalli.com>), que se tem dedicado à produção da mais alta qualidade de damascos para a indústria dos colchões. A Duvalli especializa-se em *jacquards*, fornecendo uma ampla gama de damascos e piquês, para além de ter uma forte capacidade de produção de malha, veludo e *fabric spacer*, usando equipamentos e matérias-primas topo de gama. Tal só é possível através do emprego de profissionais qualificados, bem como, com a implementação da mais recente tecnologia em maquinaria e processos.



Figura 1 - Duvalli Mattress Ticking.

A Duvalli está a par dos avanços tecnológicos e das necessidade de um mercado cada vez mais rigoroso. Por este motivo a empresa preocupa-se em fornecer produtos e soluções cada vez mais exigentes em termos de Design, Qualidade, Rapidez e Fiabilidade. Para tal, tem à disposição, uma linha de fibras e acabamentos inovadores no fabrico de damascos e malhas destinadas à cobertura de colchões (ver Figura 2).

- **Lista de Fibras**



- **Lista de Acabamentos**



Figura 2 - Lista de Fibras e Acabamentos da Duvalli.

1.5. CONTEÚDO E ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação é composta, essencialmente, por seis capítulos, nomeadamente: Introdução, Fundamentação Teórica e Revisão Bibliográfica, Descrição do Sistema Real, Sistema de Apoio à Decisão para Melhoria dos Fluxos, Validação do Sistema de Apoio à Decisão e Análise de Resultados e, por fim, Conclusões e Trabalho Futuro. Os parágrafos seguintes enaltecem o conteúdo de cada um destes capítulos, respetivamente.

O Capítulo 1 procura, de uma forma introdutória, dar a conhecer a base para o desenvolvimento deste trabalho, focando-se nos objetivos a atingir, quais as metodologias a integrar para o cumprimento destes, terminando com uma apresentação da empresa onde todo este processo foi realizado.

No Capítulo 2 é realizado um enquadramento sobre o tema do trabalho (logística interna) e a simulação como ferramenta de apoio à decisão, explicando-se a sua importância, dando exemplos de aplicação desta nas mais diversas áreas.

O Capítulo 3 apresenta o funcionamento atual da empresa como um todo, qual o problema proposto e quais as propostas para uma eventual resolução deste.

O Capítulo 4 aborda o desenvolvimento da ferramenta proposta a partir dos dados recolhidos ao longo do tempo de estágio, tendo como pontos chave o modelo lógico, a animação e a interface gráfica para com o utilizador.

O Capítulo 5 é referente à validação do modelo de simulação desenvolvido, assim como apresenta uma análise dos resultados alcançados.

Por fim, o capítulo 6 sintetiza o trabalho desenvolvido, dando perspectiva aos pontos positivos e negativos encontrados ao longo deste, reunindo, depois, quais as opções para uma possível continuação deste projeto.

Posteriormente a estes capítulos é patente a bibliografia utilizada para a elaboração desta dissertação e, também, os diversos anexos que procuram completar alguns pontos da mesma.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DA LITERATURA

No contexto da evolução tecnológica que se pôde presenciar nas últimas décadas e que se prevê alavancar ainda mais para as próximas, a indústria transformadora, ponto de interesse do trabalho apresentado, mostra que a excelência nas operações que a representam é uma necessidade, sendo que os desafios que lhe são impostos para procurar alcançar sistemas eficientes através da melhoria contínua são uma constante (Benedettini *et al.*, 2008). Para fazer face aos problemas que vão surgindo no dia-a-dia, diferentes ferramentas são criadas e implementadas. A simulação é uma dessas ferramentas. De facto, a simulação é considerada como um excelente instrumento cujas possibilidades dadas ao utilizador passam por desenvolver um modelo baseado num sistema real, prever ações a partir de dados previamente recolhidos, procurar pontos passíveis de melhorias e avaliar o impacto de diferentes tipos de estratégias nesses e outros pontos (Ferreira *et al.*, 2011).

2.1. FLUXOS MATERIAIS

A dissertação aqui apresentada tem como principal ponto de interesse a simulação como ferramenta de apoio à decisão, contudo, uma vez que a área de estudo envolve os fluxos de materiais dentro de uma empresa, pretende-se, numa primeira instância, abordar, de uma forma generalizada, o conceito de logística interna.

A logística é definida, segundo Philip Kotler (in Coimbra, 2009), como “o planeamento, a implementação e o controlo do fluxo físico de materiais e produtos acabados, desde o ponto de origem até o ponto de uso para atender as necessidades do cliente, com lucro”. Assim sendo, o fluxo de materiais na logística interna pode ser agrupada em cinco conceitos distintos, seguindo (Coimbra, 2013):

- Supermercados;
- *Mizusumashi*;
- Sincronização;
- Nivelamento;
- Planeamento *Pull*.

2.1.1. SUPERMERCADOS

O conceito de supermercado (ver Figura 3) é caracterizado por ser semelhante ao que o consumidor comum conhece, representando um local no chão de fábrica próximo ao operador, onde são armazenadas pequenas quantidades da matéria prima necessária à produção de um determinado artigo.

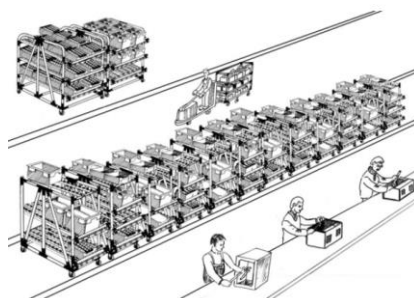


Figura 3 - Exemplo de Supermercado (Haysman, 2016).

A forma de armazenagem presente em supermercados é muito variada, dependendo do tipo de produto em produção, do tamanho deste, entre outros fatores minoritários. O seu reabastecimento é feito de forma periódica, através, normalmente, de um sistema *kanban* que permite o controlo do consumo dos materiais.

2.1.2. *MIZUSUMASHI*

Mizusumashi é um termo desenvolvido no sistema de produção da Toyota, conhecido em português por operador logístico. A sua função passa por fazer o transporte interno de materiais entre postos de trabalho, numa rota pré-definida, segundo a filosofia *just-in-time* (JIT), ou seja, entrega dos materiais requisitados, na quantidade certa, no momento certo (Ichikawa, 2009). O meio de transporte utilizado pelo *mizusumashi* é o comboio logístico (ver Figura 4) que é composto por um veículo atracado a um conjunto de carros ou estantes com a informação e a matéria prima correspondente a cada posto de trabalho.

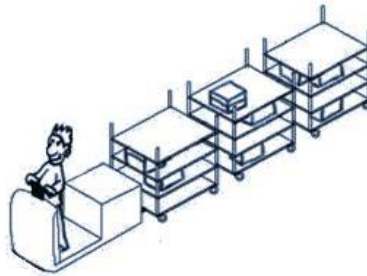


Figura 4 - Comboio Logístico e *Mizusumashi* (Leanop, 2018).

A importância do *mizusumashi* no processo produtivo é considerável, uma vez que a falha na entrega de um material pode ser responsável pela paragem de uma linha de produção.

2.1.3. SINCRONIZAÇÃO

A sincronização pode ser descrita como o fluxo de informação e de materiais entre postos de trabalho de forma a cumprir o objetivo do JIT, isto é, numa altura em que se procura ter a entrega do produto acabado, na quantidade pedida, no tempo pretendido, uma boa sincronização entre estações de trabalho é crucial, visto que não é possível montar um produto com 30 componentes em que existem 29 desses componentes e falta apenas 1 (Coimbra, 2009).

2.1.4. NIVELAMENTO

O nivelamento tem como objetivo distribuir a produção de uma forma mais uniforme, procurando evitar o acúmulo ou a falta de inventário em diferentes etapas produtivas. Isto deve-se ao facto do mercado envolvente ser composto por uma grande diversidade de produtos, existindo uma grande volatilidade por parte dos pedidos do cliente final. A adaptação deste conceito passa por um planeamento logístico e produtivo mais eficaz, dividindo as encomendas em pequenos lotes e por otimizar o processo produtivo, tendo em conta a capacidade da linha de produção (Coimbra, 2009) (Coimbra, 2013).

2.1.5. PLANEAMENTO *PULL*

O planeamento *pull* tem como objetivo base a otimização da produção, ou seja, produzir apenas o necessário. Ao contrário dos sistemas *push* em que a produção é baseada em previsões, os sistemas *pull* baseiam-se na procura real, iniciando a produção apenas quando existe o aval do cliente (*pull*=puxada, produção puxada pelo cliente), diminuindo os níveis de *stock* existentes. Assim, este sistema funciona em parceria com a sincronização de processos, sendo uma característica do JIT (Hunter *et al.*, 2004). A Figura 5 demonstra a diferença entre os dois sistemas.

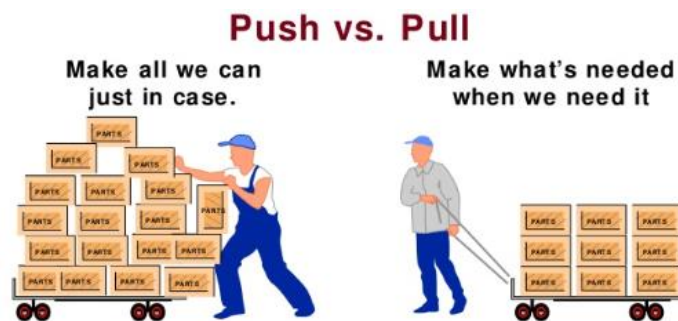


Figura 5 - Exemplo de Sistema *Push* vs Sistema *Pull* (Plex, 2017).

2.2. SIMULAÇÃO INDUSTRIAL

A simulação compreende um conjunto de ferramentas e métodos tecnológicos, que permite a experimentação e validação de projeto e configuração de produto, processo e sistema. No atual ambiente de produção, que é afetado por tendências como a globalização e exigências cada vez maiores para maior grau de customização e personalização do produto, o valor da simulação é evidente (Mourtzis *et al.*, 2014).

De facto, ao longo das últimas décadas tem-se verificado um aumento relativo à sua utilização, sendo que um estudo levado a cabo por (Mourtzis *et al.*, 2014) apresenta essa evolução, com se pode ver Figura 6.

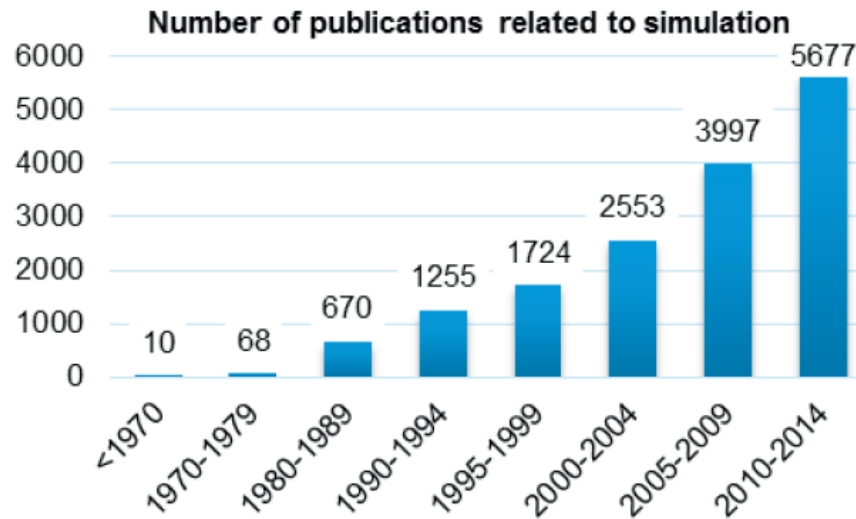


Figura 6 - Numero de Publicações Relativas à Simulação (Mourtzis *et al.*, 2014).

Devido a esta afluência, as definições dadas ao conceito de simulação podem ser descritas como variáveis, dependendo da área a que se aplica (matemática, medicina, engenharia, militar, banca, etc.), sendo que *à priori* se assume como uma técnica desenvolvida para auxiliar o utilizador na tomada de decisão.

Na Tabela 1 estão patentes alguns exemplos sobre a interpretação do significado de simulação por parte de diferentes autores, tendo em conta a panóplia de aplicações a que esta está associada.

Tabela 1 - Conceitos de Simulação.

<i>Referências</i>	<i>Simulação - Definições</i>
(Carillo <i>et al.</i> , 2017)	A simulação é a tentativa de recriar um sistema real ao longo do tempo, sendo que se entende por sistema um conjunto de elementos interrelacionados, onde cada um destes elementos está ligado a outro, direta ou indiretamente.
(Ingalls <i>et al.</i> , 2017)	Simulação significa realizar experiências com um modelo construído previamente, em que este imita alguns aspetos do comportamento do

	sistema em estudo e o utilizador realiza as variações necessárias no modelo de forma a avaliar a sua resposta a certas situações plausíveis.
--	--

(Wagner, 2016)	Simulação é um termo genérico que, na simulação computacional, se pode dizer que é fornecida por qualquer programa de computador que imite uma estrutura estática ou um sistema dinâmico do mundo real.
----------------	---

(Jian <i>et al.</i> , 2015)	A razão pela qual se implementam modelos de simulação deve-se ao <i>insight</i> ou à orientação para certas decisões que queremos ter. Assim, representando essas decisões como variáveis de decisão num modelo, podemos maximizar ou minimizar certas medidas através da simulação.
-----------------------------	--

(Pasupathy <i>et al.</i> , 2015)	Simulação é o desenvolvimento de um modelo computadorizado de algum sistema físico de interesse, sendo, geralmente, a tentativa de representar fielmente o funcionamento do sistema, com o objetivo de estimar uma medida de desempenho bem definida.
----------------------------------	---

(Mourtzis <i>et al.</i> , 2014)	A simulação compreende um conjunto indispensável de ferramentas e métodos tecnológicos para a implementação bem-sucedida de um qualquer organismo, uma vez que permite a experimentação e validação de projeto e configuração de produto, processo e sistema.
---------------------------------	---

(Carson II, 2005)	A simulação passa por ser um modelo descritivo de um processo ou sistema que, geralmente, inclui parâmetros que permitem ao utilizador realizar configurações ao sistema, avaliando, assim, as consequências daí provenientes.
-------------------	--

(Jingsheng Shi, 2001)	A simulação é tida em conta pela capacidade de descrever um sistema real com todos os detalhes esperados e com a capacidade de abordar as várias características aleatórias e dinâmicas do sistema.
-----------------------	---

2.2.1. VANTAGENS E DESVANTAGENS DA SIMULAÇÃO

Como qualquer ferramenta de apoio à decisão, também a simulação tem as suas vantagens e desvantagens.

Segundo a literatura da especialidade, podem ser mencionadas algumas das vantagens a si associadas, abordando-se com uma maior particularidade as seguintes (Banks, 2000), (Carson II, 2005), (Ferreira *et al.*, 2011), (Shannon, 1998):

- A simulação permite estudar um sistema com um longo período de tempo (ex.: um sistema económico) num tempo comprimido e vice-versa, ou seja, estudar o funcionamento detalhado de um sistema num período de tempo mais alargado.
- A simulação permite estimar o desempenho de um sistema existente sob certas condições de operação previamente projetadas.
- Numa simulação consegue-se manter um melhor controlo sobre condições experimentais, do que geralmente seria possível se estas experiências fossem realizadas no sistema real, não comprometendo, assim, os recursos a si associados.
- A simulação permite a identificação de problemas, pontos de estrangulamento (*bottlenecks*), testar diferentes opções estratégicas, antes da construção ou modificação de um sistema, com o intuito de procurar otimizar o seu funcionamento.
- A simulação permite o estudo de um sistema, como este muda ao longo do tempo e como subsistemas e componentes interagem entre si.
- Através da simulação é possível realizar testes a novos *designs*, *layouts*, etc. sem comprometer recursos na sua implementação.
- A simulação pode ser usada para explorar novas políticas de atribuição de recursos, procedimentos operativos, regras de decisão, estruturas organizacionais ou fluxos de informação sem a necessidade de interromper o normal funcionamento do sistema.
- Permite-nos perceber como o sistema realmente funciona e a entender quais as variáveis mais importantes para o seu funcionamento.

- A principal força da simulação é a sua habilidade de nos deixar testar situações novas e responder a perguntas do tipo “e se”.

Apesar das vantagens enumeradas, existem, também, desvantagens em relação ao uso da simulação, entre as quais podem ser destacadas as seguintes (Banks, 2000), (Carson II, 2005), (Ferreira *et al.*, 2011), (Shannon, 1998):

- Modelos de simulação são dispendiosos e levam uma quantidade de tempo considerável para o seu desenvolvimento.
- A simulação não fornece soluções ótimas sobre os problemas em estudo, mas permite, contudo, avaliar o comportamento do sistema a partir dos cenários criados para o efeito.
- Se o modelo criado não for uma representação válida do sistema em estudo, os resultados da simulação, por mais impressionantes que aparentem ser, trarão pouca informação útil sobre o sistema real.
- O desenvolvimento de modelos de simulação é uma arte que exige treino especializado e, por isso, um elevado nível de conhecimento, quer ao nível do sistema em análise quer do nível da linguagem de simulação que se pretende usar.

2.2.2. FASES DE UM PROJETO DE SIMULAÇÃO

O desenvolvimento de um projeto de simulação é caracterizado por um certo conjunto de etapas, desde a fase de planeamento até à fase de implementação, sendo que “a modelação e a programação são apenas uma parte da simulação” (Law, 2007).

Segundo a especialidade, existem diferentes abordagens em relação aos estágios de um projeto de simulação, apesar de não existir um grande desfasamento de opinião em relação ao tema. De seguida, é apresentado um fluxograma que representa o ponto de vista apresentado por (Law, 2007), onde estão patenteadas as nove etapas que, quando interligadas, levam a uma concretização com êxito do projeto (ver Figura 7).

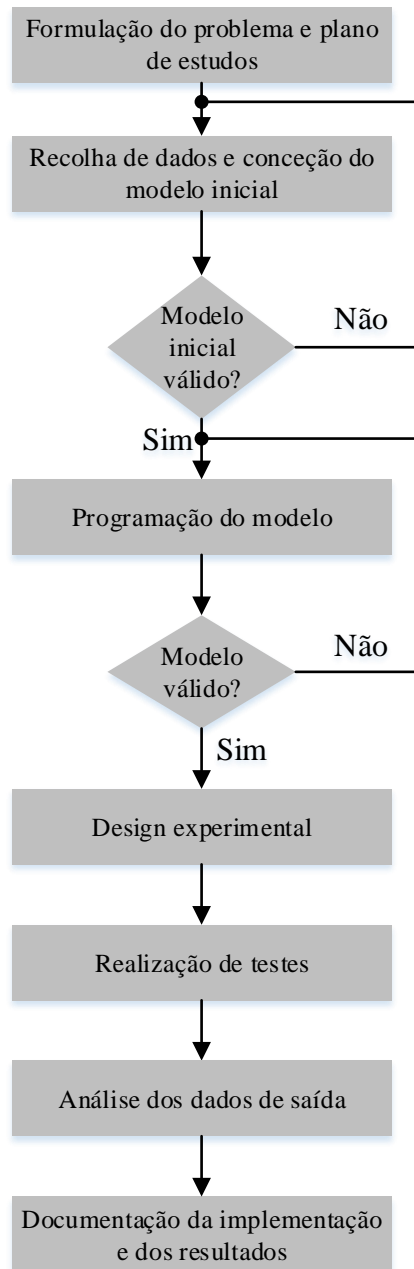


Figura 7 - Etapas de um Projeto de Simulação (Law, 2007).

De forma a se ter uma melhor perceção do que se pretende em cada situação, é exposta uma explicação mais detalhada sobre cada ponto, seguindo (Law, 2007).

1. Formulação do problema e plano de estudos – Descrição específica do problema que se pretende resolver e dos objetivos que se preveem serem alcançados com o estudo proposto.
2. Recolha de dados e conceção do modelo inicial – Recolha dos dados necessários, sobre o sistema em estudo para serem usados nos procedimentos operacionais do

modelo. Desenvolvimento do modelo moderadamente detalhado, isto é, um modelo simples que capture a essência do sistema em análise para, conforme for desenvolvido, ser mais acessível de aperfeiçoar.

3. Modelo inicial válido? – Comprovação do modelo desenvolvido através de testes iniciais, de forma a aumentar a validade atual do modelo.
4. Programação do modelo – A programação do modelo traduz-se na redução do tempo de leitura, processamento e saída de dados.
5. Modelo válido? – Tal como no ponto 3, existe a necessidade de se realizar testes de forma a aprovar a capacidade do modelo, nomeadamente no que toca à sua sensibilidade, ou seja, se os valores de saída de diferentes ensaios tiverem grandes variações, existe a necessidade de reavaliar os passos anteriores, através de alterações ao modelo base, de forma a encontrar a validade do modelo perante o sistema real.
6. Design experimental – Análise dos dados obtidos dos testes anteriores e decisão relativa a possíveis alterações do sistema real para uma obtenção de melhores resultados.
7. Realização de testes – Realização de testes e avaliação primários dos dados recolhidos para as diferentes estratégias desenvolvidas e embutidas.
8. Análise dos dados de saída – Avaliação dos resultados obtidos para as diferentes estratégias delineadas.
9. Documentação da implementação e dos resultados – Documentação dos dados obtidos para a aplicação pretendida e devida implementação do modelo no sistema real.

2.2.3. SIMULAÇÃO NO SECTOR DA PRODUÇÃO INDUSTRIAL

Na literatura da especialidade, é possível encontrar diversos trabalhos no sector da produção que usufruem da simulação dos seus sistemas parciais ou totais, como forma de criar um apoio na tomada de decisão.

Na Tabela 2, apresentada a seguir, descrevem-se, então, alguns exemplos da sua aplicação, tendo em conta base de dados da *Science Direct*, da *Winter Simulation Conference*, entre outros.

Tabela 2 - Exemplos da Aplicação da Simulação na Área da Produção.

<i>Referências</i>	<i>Aplicações da simulação</i>
(Opacic <i>et al.</i> , 2018)	Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma ferramenta de apoio à decisão para a análise, avaliação e possíveis alterações do processo de produção numa fábrica de produtos de madeira. A DSS desenvolvida foi utilizada para propor uma mudança na política atual (adição de um novo trabalhador com o novo transportador automatizado), o que aumentaria o rendimento da fábrica em quase 21%, eliminando outras propostas.
(Kretzschmar <i>et al.</i> , 2018)	O objetivo deste trabalho foi desenvolver um sistema de suporte à decisão (DSS) para selecionar máquinas de <i>additive manufacturing</i> (AM) ideais para aplicações de fusão de pó metálico, que avalia os fatores de produtividade para qualquer geometria especificada. Com base em suposições de consultorias de negócios, a produtividade pode ser aumentada, resultando em um potencial declínio de custo por peça de até 55% até 2025.
(Viana, 2017)	Este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de uma aplicação informática para geração automática de modelos de simulação de células de picagem de limas que permita ao utilizador identificar novas configurações do processo, redução do tempo de operação por parte do operador, bem como o aumento da taxa de ocupação dos equipamentos e das quantidades de unidades produzidas.
(Nyemba <i>et al.</i> , 2017)	Este artigo analisa a modelação e a simulação do fluxo de materiais de uma fábrica de montagem de móveis para desenvolver um sistema eficiente que realize entregas de produtos em tempo útil a um custo mínimo. Os resultados mostram que o rendimento médio por hora foi significativamente aumentado e foi criado espaço adicional para armazenar materiais antes do processamento nas estações de trabalho.
(Peirleitner <i>et al.</i> , 2017)	Neste trabalho temos um caso onde se pretende melhorar um sistema de produção de componentes através da simulação e do planeamento das necessidades do material (MRP). Através da simulação, um sistema de

	<p>apoio à decisão é criado e através do MRP é otimizado o sistema no seu todo. Os resultados mostram que o nível de serviço e o <i>stock</i> podem ser melhorados pela otimização dos parâmetros de planeamento e pela redução dos tempos de preparação.</p>
(Cebral-Fernández <i>et al.</i> , 2017)	<p>Neste estudo é apresentado um modelo de simulação contínuo que minimiza as incertezas do processo de construção naval. O objetivo é obter um modelo multinível que possa ser usado em estágios iniciais e posteriores do projeto. Resultados mostram um melhor balanceamento de recursos, menor tempo de planeamento, a identificação de <i>bottlenecks</i> e criação de novas alternativas.</p>
(Balan, 2017)	<p>Este trabalho aborda um estudo onde se utilizou a simulação para a reengenharia de processos na produção de cerâmicas, com vista a melhorar a capacidade das instalações e a diminuir os seus tempos de produção. Usando a simulação aliada à reengenharia de processos, as mudanças propostas resultaram numa redução de 50% no tempo de ciclo para processar os produtos entre etapas e num tempo de produção de 3 para 1.5 dias.</p>
(Persson <i>et al.</i> , 2017)	<p>Neste trabalho, a simulação é usada para modelar um caso com três produtos finais, a fim de determinar a relação entre os níveis de <i>stock</i> de segurança e os níveis de serviço. Além disso, é feita uma comparação com os <i>stocks</i> de segurança calculados teoricamente. O resultado mostra que a simulação pode fornecer uma determinação muito mais precisa do que cálculos teóricos.</p>
(Bartkowiak <i>et al.</i> , 2016)	<p>Este estudo demonstra o uso de simulação como ferramenta para reduzir o impacto negativo das falhas das máquinas no desempenho de uma linha de enchimento. Para tal, são usados dados relativos a estas falhas e criados seis cenários para a alocação de <i>buffers</i>. Isto levou a um aumento do rendimento da linha em 15% e mostrou que o impacto das falhas das máquinas diminuiu.</p>
(Andrade <i>et al.</i> , 2016)	<p>Este trabalho visa aplicar os conceitos de mapeamento do fluxo de valor (VSM) e de simulação numa empresa automóvel. Os resultados mostram que através do VSM atual e futuro da empresa, foi possível identificar e eliminar o desperdício presente numa linha de montagem de discos de</p>

embraiagem, havendo uma redução de *lead time*, que passou de 60,5 para 4,14 dias. Com a junção da simulação ao VSM, verificou-se, ainda, uma redução de 7% no tempo total de produção, além do aumento de 10% no uso dos postos de trabalho.

(Freens *et al.*, 2015) Este trabalho visa aumentar o desempenho de uma impressora 3D e diminuir os tempos de espera dos objetos de impressão, substituindo o planeamento manual por um automático. Isto é feito através da geração automática de lotes para as impressoras e posicionando os objetos de impressão numa bandeja a partir de um software de embalagem tridimensional. Os resultados revelam um rendimento de mais 10%.

(Wery *et al.*, 2015) Este trabalho procura melhorar a forma como são feitos os cortes que transformam madeira áspera em várias tábuas lisas de dimensões menores. A simulação permitiu criar uma base de dados de padrões de corte virtuais que com um modelo de otimização gerou um cronograma de produção maximizando o valor de produção. Isto permitiu recuperar cerca de 30% do valor perdido ao usar o sistema original.

(Biele *et al.*, 2015) Este estudo discute um problema na indústria aeroespacial sobre o planeamento dos tempos de processamento e número de trabalhadores necessários para o trabalho. A principal contribuição deste trabalho passa pelo design e implementação de um modelo que permite avaliar estes problemas através da simulação, melhorando, assim, as decisões de planeamento.

(Ferreira *et al.*, 2011) Este trabalho descreve um sistema de apoio à decisão baseado num modelo de simulação de eventos discretos numa fábrica de montagem de automóveis. O modelo criado é usado para avaliar o impacto da variação do comprimento dos tapetes rolantes na performance da linha. Além disso, propõe a alterações para maximizar o desempenho da linha de produção.

(Ladbrook *et al.*, 2010) Este trabalho teve como objetivo apoiar o processo de transição nas linhas de produção da Ford em Valência, usando técnicas de modelação de simulação. Tendo em conta o modelo desenvolvido, recomendações foram propostas. Os resultados do projeto indicaram que o investimento é necessário em termos de aumento da capacidade de duas operações de

	<p>estrangulamento através da reformulação e melhoria da lógica de roteamento do transportador numa área-chave.</p>
--	---

<p>(Liong, 2009)</p>	<p>Neste trabalho foram desenvolvidos modelos de simulação em ARENA para sistemas de carga e descarga em armazéns, onde o objetivo é procurar minimizar o tempo de permanência de qualquer camião no cais. Através dos quatro modelos desenvolvidos verificou-se que, adicionando uma empilhadeira e um motorista, o modelo escolhido não só superou o problema de horas extras como também reduziu o tempo de espera dos clientes em mais de 65 %.</p>
----------------------	---

<p>(Benedettini <i>et al.</i>, 2008)</p>	<p>Este estudo explora o desenvolvimento de uma ferramenta aprimorada para facilitar e acelerar a modelação de sistemas de produção complexos. O objetivo passa por avaliar a viabilidade de usar a interface como base para uma ferramenta de modelação de simulação de uso geral, ou seja, que seja capaz de lidar com qualquer tipo de sistema de produção.</p>
--	--

<p>(Vitanov <i>et al.</i>, 2007)</p>	<p>Este trabalho apresenta uma ferramenta de apoio à decisão para resolver problemas de formação de células, sendo baseada num algoritmo de formação de células que emprega um conjunto de regras heurísticas para obter uma solução quase ótima de informações de rotas de componentes e outros dados de produção significativos. Os resultados demonstraram que o algoritmo produziu um desempenho excepcional em termos de eficiência de agrupamento, agrupando medidas de eficácia e índice de qualidade.</p>
--------------------------------------	---

<p>(Abdulmalek <i>et al.</i>, 2007)</p>	<p>Este trabalho utiliza uma combinação entre princípios lean e VSM de forma a identificar e procurar melhorar os processos numa grande fábrica de produção de aço. Para além disso, o desenvolvimento de modelos de simulação foi tido em conta para se avaliar com um maior detalhe o “antes e o depois” e assim mostram benefícios como redução do lead time de produção e menor inventário de trabalho em processo.</p>
---	---

<p>(Ferreira, 2003), (Ferreira <i>et al.</i>, 2005)</p>	<p>Neste trabalho apresenta-se uma aplicação de apoio à decisão que pretende realizar a geração automática de modelos de simulação com o intuito de redefinir os fluxos de processamento de materiais ao longo de uma linha de produção de auto-rádios, tendo por base a construção de seis estratégias de controlo que visam apresentar diferentes tipos de soluções dependendo das variáveis de entrada apresentadas.</p>
---	---

2.2.4. SIMULAÇÃO NOUTROS SECTORES DE APLICAÇÃO

Inicialmente, a simulação era um recurso usado, sobretudo, em setores como o da produção, o militar e o dos transportes. Porém, hoje em dia, é descrita como uma ferramenta para toda e qualquer área, como a da medicina, da banca, da justiça, telecomunicações, etc.

Na Tabela 3, são apresentados alguns exemplos da aplicação da simulação em diferentes setores, como ferramenta de apoio à decisão.

Tabela 3 - Exemplos da Aplicação da Simulação noutras Áreas.

Referências	Aplicações da simulação
(Bucková <i>et al.</i> , 2017) Área da Logística	Este trabalho procura otimizar as distâncias de transporte para pedidos de <i>picking</i> . Quando o número de pedidos é diminuto, a solução encontrada passa pelo cálculo de permutações sem repetições e pelo uso auxiliar do programa de simulação. Quando se trata de um elevado número de pedidos, a solução passa pela interligação de algoritmos genéticos com os modelos de simulação.
(Jian <i>et al.</i> , 2016) Área da Logística	Neste trabalho teve como objetivo a otimização do sistema de partilha de bicicletas de Nova York, tomando como ponto de partida dados testados anteriormente. Através de uma variedade de heurísticas desenvolvidas, existem melhorias em todas as soluções dos dados usados quer para encontrar locais com bicicletas disponíveis como para encontrar locais para as devolver.
(Hu <i>et al.</i> , 2015) Área da Restauração	Este estudo aborda a necessidade de utilizar simulação para procurar melhorar o desempenho nas cozinhas do KFC. Tendo em conta o fluxo de clientes, o processamento de pedidos e materiais, foi possível verificar o impacto de alterações realizadas, melhorando a performance do restaurante, a utilização dos seus recursos e a experiência dos clientes.
(Sebastiani <i>et al.</i> , 2014) Área da Logística	Este trabalho apresenta uma solução otimizada para alocar estações de carregamento para carros elétricos com base num modelo do tráfego urbano e do consumo de energia dos veículos. O modelo considera três caminhos possíveis dentro de uma certa área e, a partir do tráfego e da energia restante do veículo, determina qual o melhor trajeto.

(Cabrera <i>et al.</i> , 2012)	Área da Saúde	Neste estudo foi desenvolvido um <i>agent-based model</i> (ABM) para criar um sistema de apoio à decisão para um centro de emergência de saúde, de modo a otimizar a performance do sistema abrangendo todo <i>staff</i> . Os resultados mostram que quanto maior o número de profissionais experientes, menor a média de pacientes em espera, apesar da inviabilidade económica para sistemas mais complexos.
(Byers <i>et al.</i> , 2010)	Área Militar	Este estudo explora a utilização de veículos aéreos não tripulados (UAV) com interceptores terrestres para combater possíveis ações hostis contra uma área de interesse predefinida. A análise de experiências anteriores resultou num modelo que permite fazer recomendações para procedimentos operacionais, incluindo o uso benéfico de pontos de controle na regulamentação do tráfego próximo à instalação protegida.
(Rossetti <i>et al.</i> , 2010)	Área da Segutança	Este trabalho apresenta diferentes métodos de simulação para modelar evacuações em larga escala. Neste caso, um centro comercial. Foi construída e validada a base do modelo de forma a representar as condições de trânsito real, desenvolvendo-se, posteriormente, seis cenários de evacuação, variando fatores como a taxa de ocupação e níveis de trânsito.
(Esher <i>et al.</i> , 2010)	Área da Segurança	Este trabalho explora, através da simulação, formas de minimizar o ataque de grupos piratas na costa africana. Para isso, são usados <i>agent-based model</i> (ABM) e avaliações estatísticas de modo a ganhar o <i>insight</i> sobre como a meteorologia e previsões oceanográficas podem ser usadas para prever o risco para o transporte comercial.
(Osidach <i>et al.</i> , 2003)	Área da Saúde	Este estudo descreve a simulação de um centro móvel de exames. O modelo criado é baseado em dados concretos e demonstra os custos/benefícios das decisões de <i>layout</i> e do <i>staff</i> . Os resultados da análise dos custos/benefícios mostram que a melhor representação é de três técnicos para sete pacientes com marcação, sendo que na realidade este valor pode variar ligeiramente.
(Díaz <i>et al.</i> , 2000)	Área da Logística	Este trabalho apresenta a simulação e otimização de um complexo sistema que é a colheita da cana de açúcar. Usando-se uma combinação de modelos de simulação, testes de design e técnicas de otimização foi desenvolvido um sistema de apoio à decisão que permite à indústria do açúcar melhorar a sua alocação de recursos, prevenindo <i>bottlenecks</i> e riscos futuros.

2.2.5. A LINGUAGEM DE SIMULAÇÃO ARENA

O ARENA é um produto da Rockwell Software, empresa que se dedica a implementar soluções para melhoria e controle na área de automação industrial (Rockwell Automation, 2018). Este *software* representa uma ferramenta de programação flexível que combina a construção de modelos de simulação com a integração de diferentes tipos de linguagem (Visual Basic, C, C++), a partir de uma linguagem de simulação chamada SIMAN (Kelton *et al.*, 2007).

Apesar da existência de outros softwares de simulação, o ARENA destaca-se dos demais, sendo que, segundo um estudo realizado por (Dias *et al.*, 2016) onde se levou a cabo uma análise sobre as ferramentas de simulação mais usadas, o ARENA ocupa a primeira posição. Este estudo teve por base a “popularidade” de cada ferramenta em diferentes circuitos, como por exemplo, artigos científicos ou a *Word Wide Web* (WWW). A Figura 8 retrata essa situação.

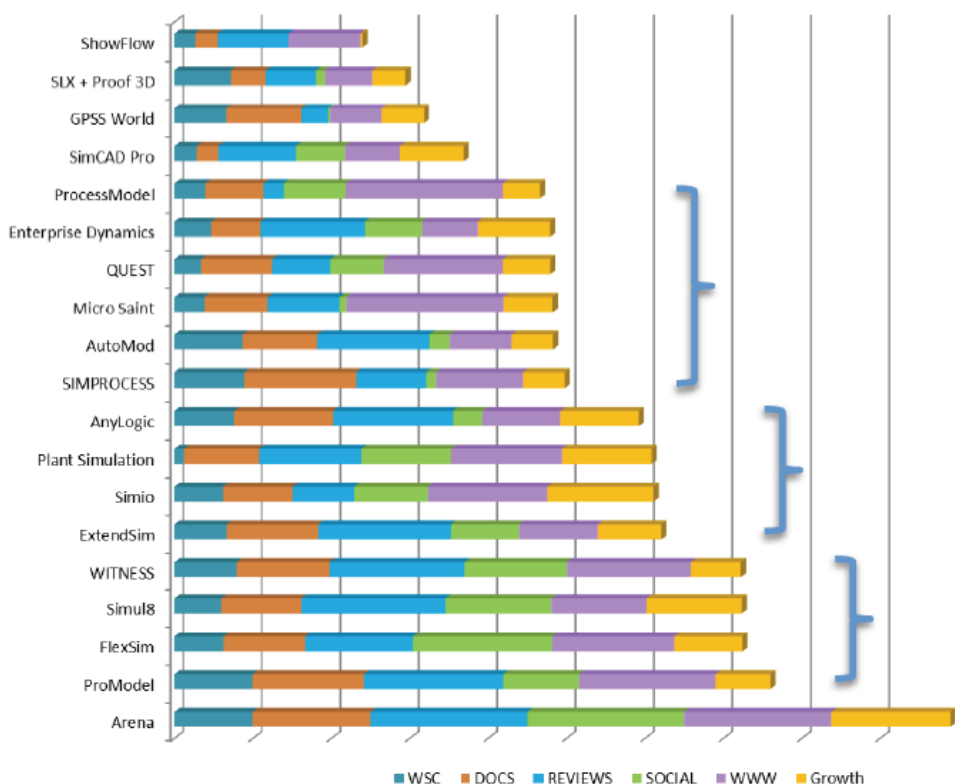


Figura 8 - Popularidade por Tipo de Ferramenta de Simulação (Dias *et al.*, 2016).

3. DESCRIÇÃO DO SISTEMA REAL

Neste capítulo é realizada uma descrição relativa ao funcionamento atual da empresa no que toca ao fluxo de materiais desde o armazém de matéria prima até ao armazém de produto acabado, sendo feita, posteriormente, uma abordagem à recolha e tratamento de dados. Para além disso, é detalhado o problema apresentado, assim como são formuladas possíveis estratégias para a minimização ou anulação desse problema.

3.1. MAPEAMENTO DOS FLUXOS MATERIAIS

Na empresa Duvalli, o desenvolvimento de malhas e damascos pode ser vista com o recurso a cinco secções relativas à produção dos mesmos: Armazém de Matéria Prima, Produção de Malhas/Damascos, Acabamentos, Paletização e Expedição de Produto Acabado. De forma a tornar gráfica e, por sua vez, mais perceptível a envolvimento de cada uma destas áreas foi realizado um *value stream mapping* (VSM) sobre o devido funcionamento da empresa. O VSM é descrito como uma técnica que serve para o diagnóstico, implementação e manutenção de medidas *Lean*. O seu objetivo resume-se ao desenho gráfico do fluxo de materiais em tempo real desde o cliente final até à matéria prima, observando-se os desperdícios ao longo dos processos a si associados (Dal Forno *et al.*, 2004). Neste caso em concreto, não se pretende dar esse tipo de

avaliação, mas sim dar a conhecer o modo como a Duvalli está interligada de uma secção para a outra. Na Figura 9 pode-se, então, visualizar o VSM do processo de fabrico das malhas e dos damascos, sobre os quais incide este trabalho.

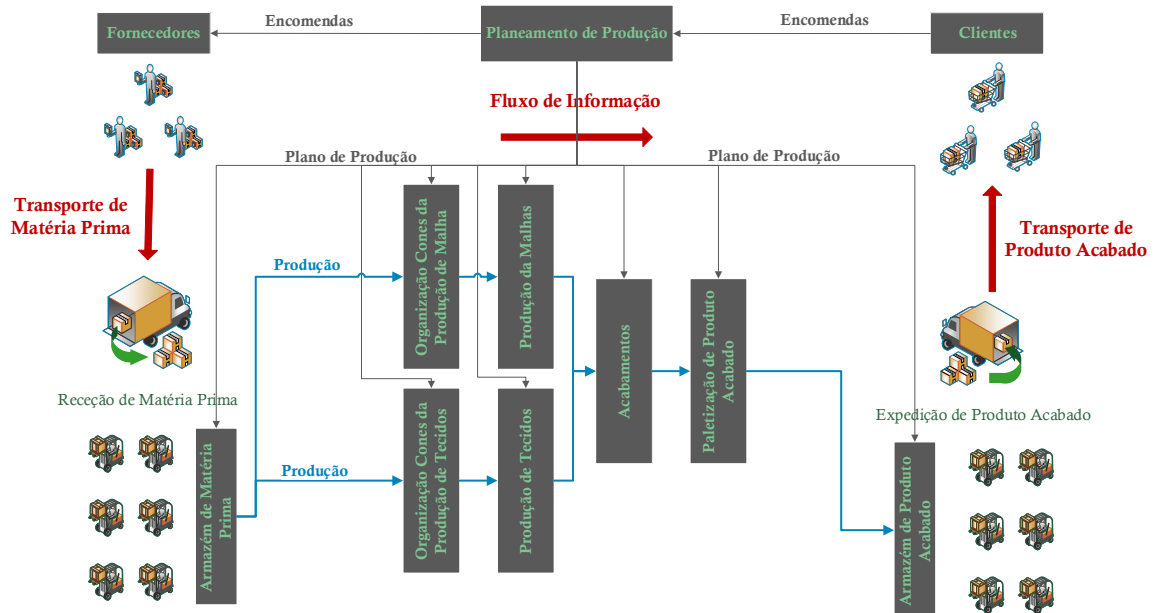


Figura 9 - Mapa do Fluxo de Materiais (VSM) da Empresa Duvalli Mattress Ticking.

O mapa de fluxo representado em cima concentra, então, as suas atividades em quatro operações: organização dos cones para produção, produção de malhas/damascos, acabamentos e paletização afetos às suas secções. Cada um destes processos acarreta diferentes fases de realização, sendo, por isso, exigida uma explicação mais aprofundada sobre os mesmo e, também, das secções onde são desenvolvidas.

3.1.1. ARMAZÉM DE MATÉRIA PRIMA

O armazém de matéria prima pode ser dividido em duas partes distintas, a receção de matéria prima por parte dos fornecedores e a preparação dos cones necessários à produção de malhas e/ou damascos.

- **Receção de Matéria Prima (Malhas)**

Aquando da receção de matéria prima, esta é desempenhada no cais de desembarque com o recurso a porta paletes e a empilhadores. Após isso, a carga é organizada por tipo (Alto Consumo ou Consumo Normal), nas prateleiras correspondentes por parte do operador deste armazém (ver Figura 10).



Figura 10 - Prateleiras do Armazém de Matéria Prima.

Os cones de alto consumo correspondem àqueles que têm um nível de utilização elevado, sendo caracteristicamente de cor crua ou branca e utilizados em grande parte das produções, enquanto que os de consumo normal são cones de fio de cor (azul, verde, etc).

- **Receção de Matéria Prima (Damascos)**

A receção de matéria prima para o desenvolvimento de damascos é similar ao das malhas, tendo como diferença a inexistência de cones de alto consumo. No seu lugar têm teias (ver Figura 11), as quais podem ser consideradas como o esqueleto de um damasco.



Figura 11 - Teia para Produção de Damascos.

- **Preparação de Cones para Produção de Malhas e Damascos**

Esta etapa dá-se quando o operador de armazém recebe por parte do gabinete de planeamento o plano de produção sobre o produto a produzir. A partir deste ponto, o operador recolhe o material necessário e dispõe-no na área afeta à máquina onde vai ser fabricado o produto.

3.1.2. PRODUÇÃO DE MALHAS

Ao iniciar a produção de malhas, é preciso ver qual o plano de produção definido para a máquina onde se vai desempenhar o fabrico do produto, dependendo do tipo de malha

(Malhas Normais, Duplo *Jacquard*, *Spacer*, Regilha, Alta Gramagem, Alto Relevo e Veludo) e das variáveis que lhe estão associadas. Estes dados encontram-se numa espécie de *Kanban* para um melhor controlo dos processos a realizar (ver Figura 12). Após isso, é realizada uma verificação do material restante da produção anterior para se avaliar se os tipos de cones que foram usados são iguais ao da nova peça. Se sim, aproveitam-se esses recursos de forma a reduzir desperdícios e, de seguida, prossegue-se com a busca pelo resto do material que se encontra na zona afeta à máquina a ser usada, no armazém de matéria prima.



Figura 12 - *Kanban* para Controlo da Produção.

Deste ponto em diante começa o abastecimento da máquina (ver Figura 13) a usar, a sua calibração e avaliação do seu bom funcionamento para se iniciar a nova produção.



Figura 13 - Exemplo de Tear Circular Usado para Produção de Malhas.

Os seguintes pontos, detalham de forma mais prática esta situação:

- Retiro dos cones relativos à produção anterior (se necessário).
- Colocação dos novos cones nas plataformas correspondentes (que se encontram à volta da máquina) e união com as agulhas da máquina.
- Calibração da máquina de acordo com o plano de produção.

- Inicialização da máquina com os valores pretendidos (introdução do desenho representativo, velocidade da máquina (RPM) e metros a produzir).
- Teste aos primeiros metros do novo produto ao nível das dimensões e da gramagem necessárias para avançar e inicialização da produção.

3.1.3. PRODUÇÃO DE DAMASCOS

Iniciando-se também pela visualização do plano de produção, a produção de damasco diferencia-se da anterior pelo uso de teias, o que dificulta e prolonga a preparação de uma máquina (ver Figura 14) para que esta inicie a produção.



Figura 14 - Exemplo de Tear Reta Usada para Produção de Damascos.

Os seguintes pontos detalham, assim, os processos que dão início à produção de damascos:

- Retiro de cones e teia relativos à produção anterior (se necessário).
- Colocação de novos cones e teia na plataforma correspondente.
- Calibração da máquina de acordo com o plano de produção.
- Inicializar máquina com os valores pretendidos (introdução do desenho representativo, velocidade da máquina (RPM), rendimento, número de passagens e metros a produzir).
- Teste aos primeiros metros do novo produto ao nível das dimensões e da gramagem necessárias para avançar e inicialização da produção.

3.1.4. ACABAMENTOS DE MALHAS

Na área dos acabamentos existe uma variabilidade de ações de malha para malha dependendo do que o cliente pretende. O fluxograma seguinte (ver Figura 15) mostra o procedimento dado aquando da chegada das malhas por parte do departamento de produção.

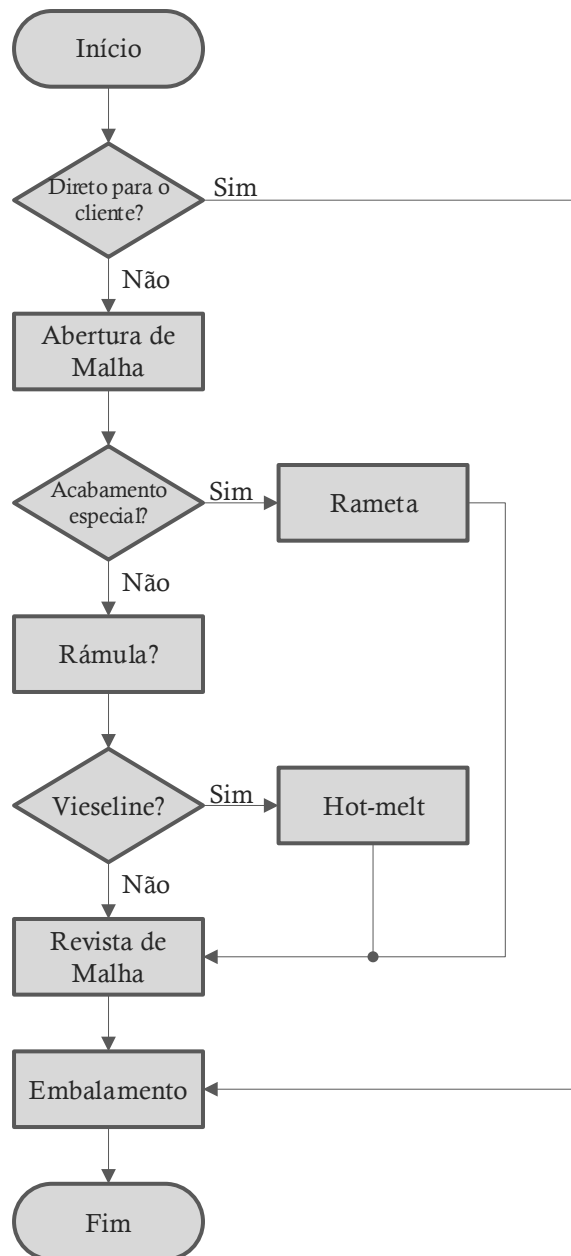


Figura 15 - Fluxograma sobre o Funcionamento dos Acabamentos de Malhas.

O fluxograma apresentado é, como se pode verificar, composto por sete fases. A explicação de cada uma é expressa da seguinte forma:

1. Direto para o cliente? – Quando a peça sai da produção, nem sempre precisa de acabamentos (caso dos veludos ou de certas amostras de malhas), passando esta de imediato para a zona de embalagem.
2. Abertura de Malha – Quando a malha sai da produção, esta vem dobrada a meio e enrolada. Para que seja possível a sua inserção nas máquinas posteriores, é preciso abri-la e esticá-la, sendo isso feito com recurso à máquina de abertura de Malhas (ver Figura 16).



Figura 16 - Exemplo da Máquina de Abertura de Malha.

3. Acabamento Especial? – O acabamento especial é considerado como sendo um tratamento dado à malha de acordo com os requerimentos do cliente. Este tratamento pode ser do tipo *Ignífugo* (Retardamento de chamas), *Sanitized* (Antibacteriano), *Bayscent* (Perfumado), *Duvalfresh* (Capacidade de gestão da humidade, aumentando a frescura), *Duvalhot* (Capacidade de gestão da humidade, aumentando o calor) e *Smart Innovation* (Repelente de mosquitos e ácaros).
4. Rámula – Este processo tem o nome da máquina onde é dado o acabamento *standard* às malhas produzidas, a velocidades variáveis, através da vaporização a altas temperaturas (ver Figura 17).



Figura 17 - Exemplo da Máquina Rámula para Acabamentos Standard.

5. Vieseline? – Tipo de revestimento dado às malhas para as tornar mais firmes. É aplicado na Hot-Melt a altas temperaturas (ver Figura 18).



Figura 18 - Exemplo da Máquina *Hot-Melt* para Aplicação da Vieseline.

6. Revista de Malha – Processo onde se verificam as conformidades das malhas, como sujidades, desmalhes, ou má aplicação de acabamentos (ver Figura 19).



Figura 19 - Exemplo de Máquina para Revista de Malhas.

7. Embalamento – Local onde é realizado o embalamento, em plástico, de malhas, para procurar evitar rasgões e/ou sujidades nestas durante o transporte para o cliente (ver Figura 20).



Figura 20 - Exemplo de Máquina para Embalamento do Produto Acabado.

3.1.5. ACABAMENTOS DE DAMASCOS

O acabamento de damasco sofre do mesmo problema de variabilidade que o de malha, por conseguinte o seu processamento não é sempre uniforme. Porém, não segue o mesmo fluxo que o anterior, como se pode ver no fluxograma representado na Figura 21.

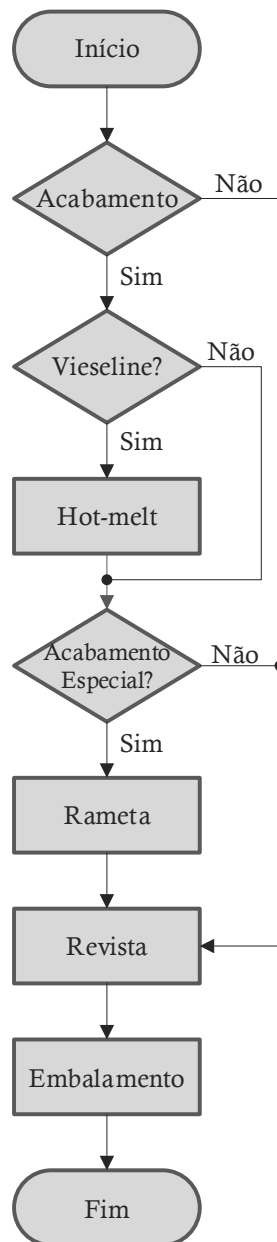


Figura 21 - Fluxograma sobre o Funcionamento dos Acabamentos de Damascos.

A zona de acabamento de damascos é composta por cinco fases, sendo algumas iguais ao fluxograma da Figura 15. A explicação de cada uma é expressa da seguinte forma:

1. Acabamento? – Ao contrário das malhas, nem todos os damascos que precisam de revista levam acabamento. Nestes casos, são logo entregues à Revista de damascos.

2. Vieseline? – Apesar de se referir apenas a vieseline, o tratamento de damascos a ser desempenhado na Hot-melt pode ter mais dois tipos de acabamentos, Duvalli ou Calandra. Os procedimentos são idênticos, não afetando os tempos de preparação de um para o outro.
3. Acabamento Especial? – Processo similar ao processado no acabamento de malhas.
4. Revista de Damascos – Processo igual ao das malhas, onde se verificam as conformidades dos damascos (ver Figura 22).



Figura 22 - Exemplo de Máquina para Revista de Damascos.

5. Embalamento – Processo igual ao anterior.

3.1.6. ARMAZÉM DE EXPEDIÇÃO

Neste armazém dá-se a saída dos produtos da Duvalli para os transportadores nacionais ou internacionais. Para além da sua paletização, a última verificação do material produzido é realizada aqui, sendo necessária a progressão de certos requerimentos para permitir a expedição dos pedidos dos clientes.

Os seguintes pontos enaltecem esses requisitos, dando alusão ao detalhe de cada um.

- Plano de expedição – Documento onde estão patentes os clientes, os transportadores, o número de metros de cada produto e o número de paletes necessárias. Quando este ponto é analisado e é dado o aval por parte dos operadores do armazém de expedição, prossegue-se para a paletização dos artigos.
- Paletização – A paletização do artigo é concebida em mais três partes à exceção desta: cintar, filmar e identificar (Nome do cliente, número da paleta, número de rolos por paleta) a paleta.

3.2. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Atualmente, o processo produtivo da Duvalli encontra *bottlenecks* em dois locais específicos, à saída da produção de malhas e à entrada da revista de malhas e damascos. Isto ocasiona por dois motivos: um fluxo errado dos materiais entre a produção e os acabamentos, uma vez que, por vezes, é o operador da máquina de abertura de malhas que tem a necessidade de ir ao encontro das peças terminadas na produção para dar a entrada destas no seu departamento, deparando-se com um acumulo de peças desproporcional, assim como da errada distribuição dos rolos de malha por carro. No caso da revista de malhas e damascos, o motivo está patente na distribuição de malhas e damascos por máquina, ou seja, existem três máquinas para revista, uma para damasco e duas para malhas, contudo quando a afluência de damascos é muito superior às malhas, uma destas duas máquinas pode revistar damascos. O problema centra-se na má aplicação desta capacidade.

Para além destas duas situações, é proposto procurar solucionar outro dilema, que se centra nos tempos de *setup* na área da produção de malhas e no tempo de transporte de materiais de um posto de trabalho para outro.

Pretende-se, então, desenvolver um modelo baseado em simulação, que sirva como ferramenta de apoio à decisão e que permita otimizar os recursos alocados de forma a superar as dificuldades referidas, controlando um certo número de variáveis de entrada que possibilitem a análise de diferentes opções de controlo e avaliação.

3.3. DEFINIÇÃO DE ESTRATÉGIAS A IMPLEMENTAR

Para o desenvolvimento do trabalho proposto foram adotados diferentes tipos de estratégias que tentam ir ao encontro de solucionar os problemas expostos. De seguida vão ser enunciadas as seis estratégias desenvolvidas, assim como uma descrição do objetivo de cada uma ao longo do modelo de simulação desenvolvido.

- **Estratégia 0 – Modelo Atual**

A estratégia 0 não se enquadra nos moldes apresentados, sendo apenas apropriada para validar o modelo desenvolvido, isto é, serve como confirmação de que os dados recolhidos e o modelo de simulação criado estão de acordo com o funcionamento real da empresa.

- **Estratégia 1 – Prioridade por tipo de artigo**

Esta estratégia procura dar uma ou mais respostas para o problema do *bottleneck* existente à entrada da abertura de malhas, criando a possibilidade de simulação de qual a ordem de entrada baseado no tipo de malha, ou seja, numa escala numérica, o utilizador, selecciona qual o tipo de produto que tem prioridade para avançar sobre o outro. Esta estratégia foi adaptada também para a entrada de damascos na área de acabamentos.

- **Estratégia 2 – Prioridade por tamanho da fila de espera**

Assim como na estratégia anterior, esta pretende abordar a questão do acumulo de malhas junto à máquina de abertura de malha. Neste caso, a prioridade advém do tipo de malha com maior quantidade de rolos neste local, dando um vazão a esse artigo. Também aqui existe uma adaptação aos damascos.

- **Estratégia 3 – Melhoria do fluxo de materiais em pontos críticos**

A estratégia 3 foi desenvolvida em vista a avaliar uma solução para o segundo problema enunciado no subcapítulo 3.2. Neste caso, prossegue-se à análise da possível implementação de um comboio logístico dentro do processo produtivo das malhas e damascos ou da implementação de um sistema de plataformas de cones móveis para a produção de malhas, para além de uma melhoria nos tempos de transporte entre secções.

- **Estratégia 4 – *Crossover* entre a estratégia 1 e 3**

Como o próprio nome descreve, esta estratégia procura avaliar quais as possibilidades do uso combinado da prioridade por tipo de artigo com a melhoria de fluxos materiais em pontos críticos.

- **Estratégia 5 – *Crossover* entre estratégia 2 e 3**

Aplicando a mesma metodologia que acima, aqui, existe a possibilidade de avaliar uma combinação entre as estratégias 2 e 3.

3.4. RECOLHA E TRATAMENTO DE DADOS

A recolha de dados mostra-se como sendo a espinha dorsal de um qualquer modelo de simulação baseado num sistema real. Neste trabalho, e após um entendimento sobre o

funcionamento geral da empresa em estudo, foi realizada uma recolha de dados propícios de utilização, de uma forma faseada, por área de interesse, para uma posterior análise e aplicação dos mesmos no modelo de simulação a ser apresentado. Estas fases compreendem, mais uma vez, as seguintes áreas:

- Armazém de Matéria Prima;
- Produção de Malhas;
- Produção de Damascos;
- Acabamentos;
- Armazém de Produto Acabado.

Para cada área foram avaliados certos tipos de dados, podendo estes diferir de local para local, dependendo dos processos a serem desempenhados. Assim, e para uma descrição mais detalhada, são, de seguida, apresentados os valores recolhidos.

3.4.1. **ARMAZÉM DE MATÉRIA PRIMA**

A recolha de dados nesta secção foi abordada de dois pontos de vista diferentes. Inicialmente, e como exposto no capítulo anterior, foi seguido o processo de preparação de cones para a produção de malhas, desde a receção do plano de produção até à finalização do preparativo deste. E, então, onde estão os pontos diferentes? Bem, devido aos diferentes tipos de malha existentes, a recolha de dados foi, numa primeira vez, realizada individualmente, ou seja, estavam a ser observados os valores a ter em conta para cada tipo de malha. Porém, conforme este procedimento estava a ser levado a cabo foi verificado que, independentemente do tipo de malha, os valores não variavam consideravelmente, optando-se assim por uma avaliação conjunta dos tipos de malha.

Para além da preparação deste tipo de cone (consumo normal), também foi analisado o preparo dos cones de alto consumo, chegando-se à conclusão que este não demonstra importância para a construção do modelo, visto que a sua organização não interfere nos fluxos de materiais dentro da fábrica, isto é, não afeta os tempos de produção. Isto deve-se ao facto de se procurar preparar estes cones nos tempos mortos existentes no armazém de matéria prima, eliminando-os.

Assim, e sendo abordado neste setor o problema relativo aos tempos de *setup* referido no capítulo anterior, os valores observados, aqui, foram os tempos de preparação dos cones de malhas de consumo normal. Estes dados podem ser observados no Anexo A.

Quanto aos Damascos, a sua preparação é dividida em cones e teias. Nos cones observaram-se tempos idênticos aos das malhas, utilizando-se, por isso, esses valores. Sobre as teias, estas já se encontram preparadas, sendo apenas necessário o seu transporte, via empilhadora, para o departamento de produção de damascos.

3.4.2. PRODUÇÃO DE MALHAS

No departamento de produção de malhas, a recolha de dados foi realizada por fases: Preparação da Máquina, Produção da Malha e Pós-Produção.

- **Preparação da Máquina**

A preparação da máquina é efetuada após a realização dos parâmetros detalhados no capítulo anterior relativos a este tópico. Assim, foram cronometrados os tempos relativos ao retiro dos cones da produção anterior (se necessário), à colocação dos novos cones nas plataformas correspondentes, à calibração da máquina de acordo com o plano de produção, e à inicialização máquina com os valores pretendidos (introdução do desenho representativo, velocidade da máquina (RPM) e metros a produzir). Inicialmente, e como realizado no armazém de matérias primas, a recolha dos valores foi feita de forma individual por processo, contudo, foi observada uma grande discrepância nos dados, dependendo do operador que realizava a operação. Devido a este motivo, foi feita uma nova análise por agrupamento de processos (1 - Retirar e colocar cones; 2 - Calibração e inicialização da máquina), observando-se uma aproximação de valores que foi tida em conta para uma utilização posterior.

- **Produção de Malha**

A produção efetiva de malha é realizada com a inserção dos dados da inicialização descritos anteriormente. O que se procurou retirar deste ponto foi, apenas, o número de metros que são produzidos por minuto para se saber quanto tempo, em média, se demora a produzir uma peça completa. Isto foi obtido pela marcação de dois traços no início da peça, de modo a medir esse valor. Valor esse que difere dependendo da máquina que se usa

(devido ao número de cones que suporta, 60, 72, 92 ou 108) e do tipo de malha, logo foram feitas recolhas para cada caso.

- **Pós-Produção**

A pós-produção abrange a recolha de dados (tempo de processamento) da máquina de pré-revista de malha, onde é realizada uma primeira avaliação do estado da peça, podendo ser passível de erros que abortem a produção de certa peça para nova inicialização, ou em caso de erros plausíveis de correção, corrigi-los, ou, se estiver tudo dentro dos parâmetros de conformidade, avançar para o seguinte centro de trabalho.

Os dados recolhidos para as três fases da produção de malha podem ser consultados no Anexo B.

3.4.3. PRODUÇÃO DE DAMASCOS

A produção de damascos tem um funcionamento díspar da produção de malhas, não existindo tanta variabilidade independentemente do damasco que se pretende produzir ou da máquina onde se vai produzir, em suma, é tudo mais uniforme. Ainda assim, esta pode ser dividida em duas fases: Preparação da Máquina e Produção Efetiva.

- **Preparação da Máquina**

A preparação de uma máquina de tecelagem acarreta um processo longo e delicado (Anexo H). Pela demora do processo em si, foi apenas feita uma medição temporal presencial do preparo da máquina, sendo também avaliado junto dos operadores deste departamento qual o tempo médio deste procedimento. Depois de algumas observações e experiências passadas dos operadores, chegou-se à conclusão que a preparação das máquinas de tecelagem usadas na Duvalli apresentam um tempo que varia entre as 4 e as 6 horas.

- **Produção Efetiva de Damascos**

Como dito na introdução deste tópico, a produção de damascos pode ser considerada como uniforme, sendo que a recolha de dados, supostamente necessárias nesta área se comparada com a de malhas, é nula. Aqui, os valores necessários para se representar a produção de damascos são dados por uma equação, representada a seguir.

$$T(\text{min}) = \frac{RPM * \text{metros} * \eta}{n^{\circ}\text{passagens} * 100} \quad (1)$$

Esta equação permite saber qual o tempo, em minutos, que demora a produzir uma peça de damasco, através dos diferentes parâmetros de entrada apresentados, mais concretamente, as rotações por minuto (RPM) da máquina, o número de metros a produzir, o rendimento (η) que a máquina deve ter e o número de passagens da trama.

3.4.4. ACABAMENTOS

Na área de acabamentos, assim como nas anteriores, a recolha de dados foi realizada por fases, mais especificamente, por máquina.

- **Máquina de Abertura de Malha**

A cronometragem do processo de abertura de malhas compreende três pontos, colocar o rolo de malha no depósito a si afeto, unir a peça atual com a anterior e inicializar a máquina (Anexo C).

- **Hot-Melt**

Os dados a serem recolhidos neste posto de trabalho acarretam valores de cronometragem e valores de *input* no modelo por parte do utilizador, ou seja, por um lado foram medidos os valores de preparação da máquina (inserção do rolo do produto e da vieseline, limpeza da máquina e inicialização) e os tempos de saída do rolo, após aplicado o acabamento, por outro lado é necessário saber o comprimento do produto a entrar e a velocidade a que a máquina vai trabalhar (Anexo D).

- **Rámula e Rameta**

O funcionamento destas duas máquinas é muito semelhante, não havendo desfasamento entre os seus valores. Assim, neste caso, na necessidade de análise recaiu sobre a paragem da máquina e no tempo associado à retirada do rolo formado (Anexo E). Quanto ao tempo de processamento das máquinas em si, este é alcançado sabendo o comprimento do material à entrada e a velocidade de funcionamento da máquina.

- **Máquina de Revista de Malhas e Damascos**

Quanto à revista de malhas e damascos, a recolha de dados foi realizada de forma separada para os dois tipos de produto, todavia o processo foi o mesmo. Foi analisada a sequência seguida pelos operadores: inserção do rolo de malha ou damasco, inserção do rolo de cartão e devida união com o produto a ser enrolado, revista do produto, finalizando com o corte e anotação dos valores finais (metros e número de erros).

Os valores analisados podem ser consultados no Anexo F.

3.4.5. ARMAZÉM DE PRODUTO ACABADO

Após a receção das peças provenientes do departamento anterior, no armazém de matéria prima foi realizada a cronometragem da sequência de processos necessários até a expedição do material, isto é, separar o material para envio ou não, paletizá-lo, cintá-lo, filmá-lo e identificá-lo. Os valores recolhidos podem ser observados no Anexo G.

3.4.6. ANÁLISE DOS DADOS RECOLHIDOS

Com a recolha e organização dos dados concluída (Anexos A, B, C, D, E, F, G), é preciso realizar o tratamento destes. Para tal, foi utilizada uma ferramenta pertencente ao *software* de simulação ARENA, cujo nome é *Input Analyzer* (ver Figura 23). O que o *Input Analyzer* nos permite fazer é, a partir de um ficheiro com os dados recolhidos, avaliar qual o melhor tipo de distribuição para um certo processo.

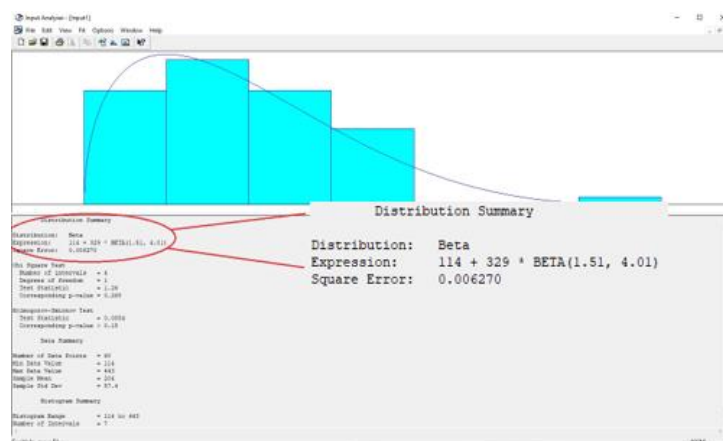


Figura 23 - *Input Analyzer* – Exemplo de Distribuição do Processo de Abertura de Malha.

De realçar que antes da introdução dos dados nesta ferramenta, foram todos convertidos de minutos para segundos, de modo a todas as distribuições se encontrarem na mesma escala.

4. SISTEMA DE APOIO À DECISÃO PARA MELHORIA DOS FLUXOS

Ao longo deste capítulo é realizado o seguimento dado para o desenvolvimento do sistema de apoio à decisão, baseado em modelos de simulação.

Numa primeira instância, são descritas as diferentes possibilidades da ferramenta construída, do ponto de vista do utilizador. Numa segunda fase, é demonstrada a animação do modelo, detalhando-se os pontos a si inerentes. Para finalizar, apresenta-se o desenvolvimento base do modelo de simulação, explicando-se, de uma forma sumária, cada bloco utilizado.

4.1. SISTEMA DE APOIO À DECISÃO

O sistema de apoio à decisão é apresentado como uma interface gráfica, desenvolvida com recurso ao *Visual Basic for Applications* (VBA) do ARENA, que procura dar ao utilizador a oportunidade de interagir com o modelo sem a necessidade de conhecimentos sobre a modelação de sistemas propriamente dita. O seu funcionamento, desde a parametrização

inicial até à seleção de estratégias, pode ser interpretado a partir do fluxograma presente na Figura 24.

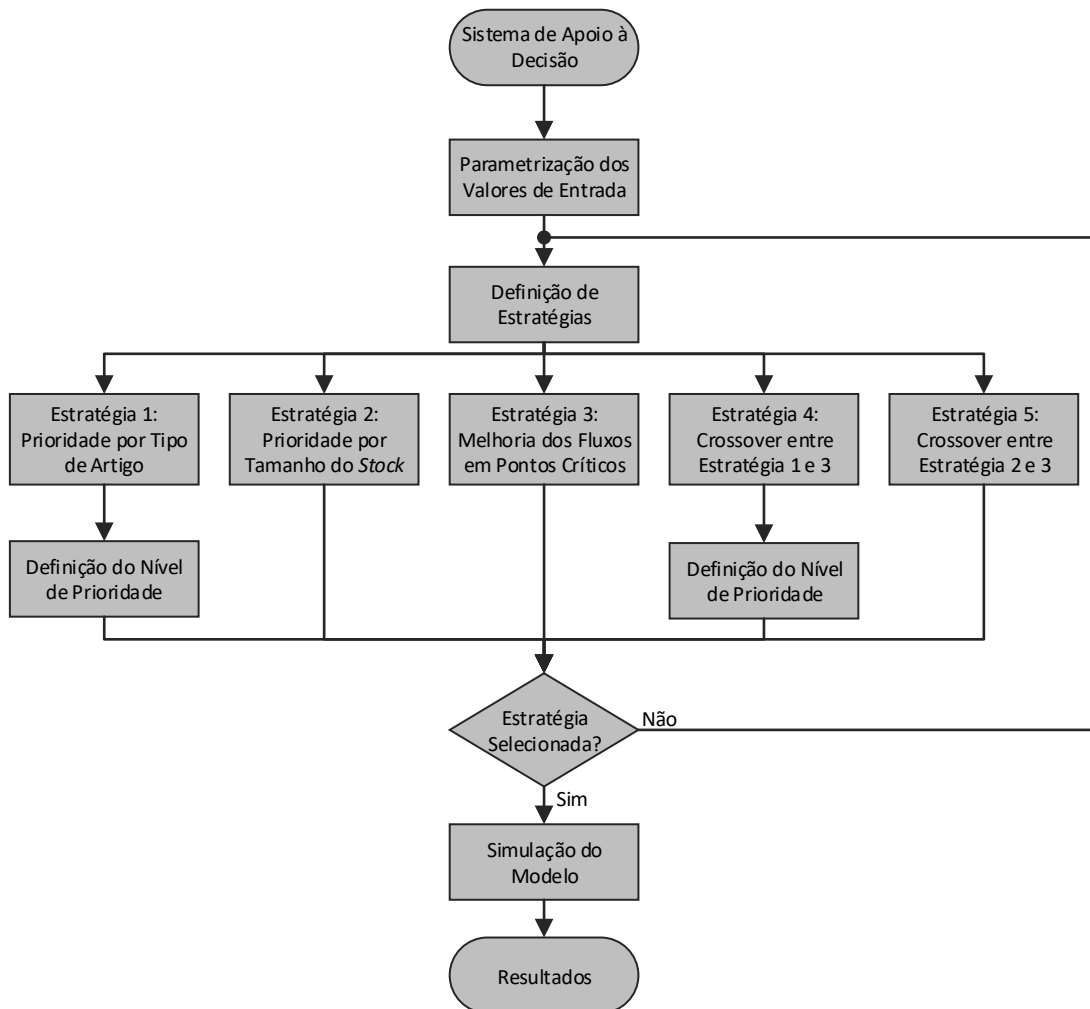


Figura 24 - Fluxo de Informação para Funcionamento da Interface Gráfica Desenvolvida.

Esta ferramenta permite, portanto, a definição das variáveis de entrada inerentes a cada setor da empresa para uma representação do funcionamento desta, assim como a determinação da estratégia a usar para a apresentação de novos cenários de teste do sistema real. Para além disso, são apresentadas, ao utilizador, outras informações que lhe poderão ser pertinentes. Resumindo, esta aplicação é composta por cinco opções de operacionalidade: *Presentation*, *Strategy Definition*, *Parametrization*, *Start Simulation* e *Exit* (ver Figura 25). Com a exceção do botão de *exit* que, como aparenta, permite sair da interface desenvolvida e do botão *Start Simulation*, que tem com função dar início ao processamento do modelo, é, de seguida, dada uma explicação mais detalhada sobre cada uma das funcionalidades apresentadas.



Figura 25 - Interface Gráfica – Capa.

- **Presentation**

O botão *Presentation* pretende dar um insight geral sobre a empresa onde foi desenvolvido o projeto, fazendo referência aos tipos de fibras e acabamentos patentes nos produtos ali desenvolvidos (ver Figura 26).



Figura 26 - Interface Gráfica – *Presentation*.

- **Strategy Definition**

O botão *Strategy Definition* permite que o utilizador tenha acesso à área de definição de estratégias (ver Figura 27), onde pode escolher qual o tipo de estratégia a adaptar dentro daquelas apresentadas no capítulo anterior. De acordo com a estratégia seleccionada, o utilizador pode ter de inserir certos valores que a façam variar a nível de procedimento (estratégias 1 e 4).

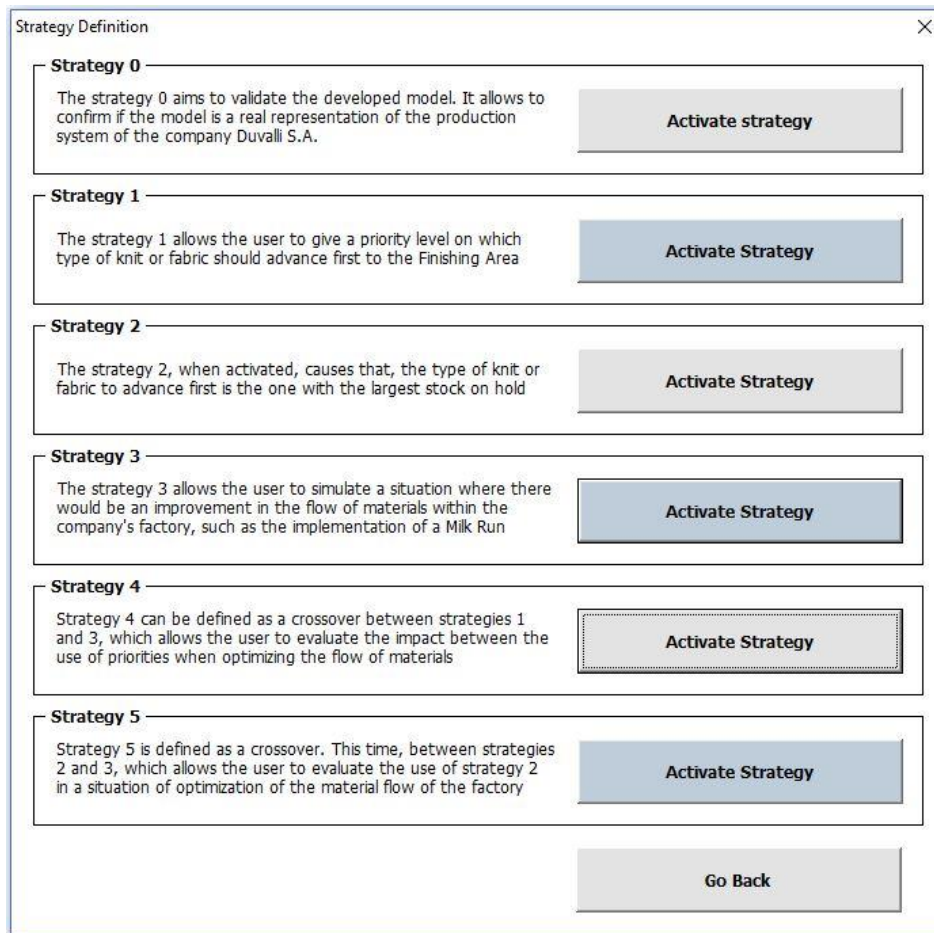


Figura 27 - Interface Gráfica - *Strategy Definition*.

Como dito, caso as estratégias 1 ou 4 sejam ativadas, uma nova janela aparece. Esta janela é responsável pela definição de prioridades das malhas (entre 1 a 4) e dos damascos (entre 1 a 3), que devem ser dadas pelo usuário (ver Figura 28).

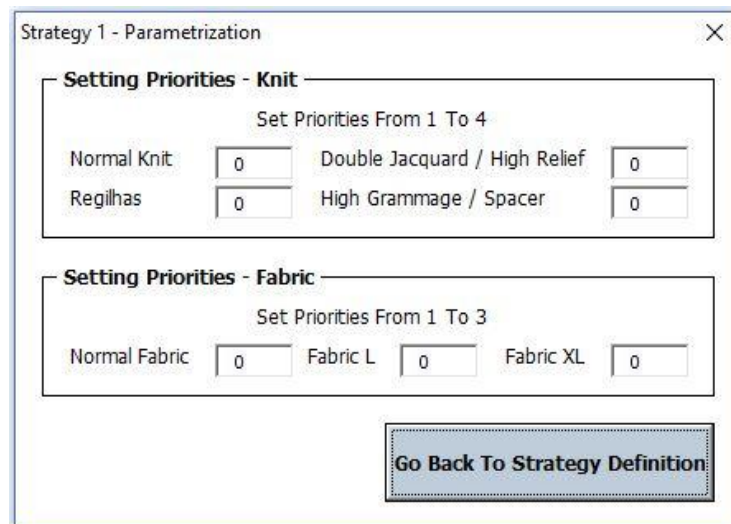


Figura 28 - Interface Gráfica - *Strategy 1 – Parametrization*.

De notar que existe uma junção nos tipos de malhas duplo *jacquard* e alto relevo. Isto deve-se à proximidade dos tempos recolhidos durante a recolha e tratamento de dados. Para além disso, a máquina a que estão afetas estas duas malhas é a mesma. O mesmo acontece com as malhas de alta gramagem e *spacer*, sendo estas, curiosamente, as únicas afetas às máquinas de 72 cones.

- ***Parametrization***

A janela referente à parametrização é dividida em três áreas de aplicação: Produção de Malhas, Produção de Damascos e Acabamentos. O objetivo desta aba é dar ao utilizador a possibilidade de alterar os valores referentes aos diversos processos da fábrica.

Na Produção de Malhas, o utilizador tem acesso à definição do número de entidades a entrar no sistema e com que intervalo de tempo (zona verde), qual o tamanho das malhas a produzir e a que velocidade as máquinas trabalham (zona laranja) e, por fim, qual o tamanho pretendido para os rolos à saída da produção (zona vermelha) (ver Figura 29).

Definition of the Number of Entities to Enter the System and Due Time Interval

Normal Knit No. of Entities To Produce: 8 Time Interval (hours): 6	Regilhas No. of Entities To Produce: 1 Time Interval (hours): 6	Double Jacquard / High Relief No. of Entities To Produce: 1 Time Interval (hours): 6
High Grammage / Spacer No. of Entities To Produce: 2 Time Interval (hours): 6	Velvet No. of Entities To Produce: 1 Time Interval (days): 7	

Size of Knit to Produce and Production Speed

Malhas Knit (60 cones) Meters To Produce: 1000 Speed (RPM): 15	Normal Knit (92 cones) Meters To Produce: 1000 Speed (RPM): 15	Normal Knit (108 cones) Meters To Produce: 1000 Speed (RPM): 15	Regilhas Meters To Produce: 1000 Speed (RPM): 15
Double Jacquard / High Relief Meters To Produce: 1000 Speed (RPM): 15	High Grammage / Spacer Meters To Produce: 1000 Speed (RPM): 15	Velvet Meters To Produce: 1000 Speed (RPM): 15	

Size of Rolls at the Output of Production

Normal Knit (60 cones) Meters Per Roll: 50	Normal Knit (92 cones) Meters Per Roll: 50	Normal Knit (108 cones) Meters Per Roll: 50	Regilhas Meters Per Roll: 50
Double Jacquard / High Relief Meters Per Roll: 50	High Grammage / Spacer Meters Per Roll: 50	Velvet Meters Per Roll: 50	

Warm-up Time and Simulation Time
 Warm-up Time (Days): 30 Simulation Time (Days): 30 **OK**

Figura 29 - Interface Gráfica - *Parametrization - Knitting Production*.

Quanto à Produção de Damascos (ver Figura 30), esta tem possibilidades semelhantes às malhas, com exceção do segundo ponto (zona laranja), onde os damascos apresentam a necessidade da introdução de uma maior quantidade de valores por máquina.

Definition of the Number of Entities to Enter the System and Due Time Interval

Normal Fabric No. of Entities To Produce: 8 Time Interval (hours): 6	Fabric L No. of Entities To Produce: 1 Time Interval (hours): 6	Fabric XL No. of Entities To Produce: 1 Time Interval (hours): 6
---	--	---

Size of Fabrics to Produce and Due to Production Variables

Normal Fabric Meters To Produce: 5000 Speed (RPM): 700 No. of Passages: 10 Efficiency (%): 90	Fabric L Meters To Produce: 5000 Speed (RPM): 700 No. of Passages: 10 Efficiency (%): 90	Fabric XL Meters To Produce: 5000 Speed (RPM): 700 No. of Passages: 10 Efficiency (%): 90
--	---	--

Size of Rolls at the Output of Production

Normal Fabric Meters Per Roll: 1000	Fabric L Meters Per Roll: 1000	Fabric XL Meters Per Roll: 1000
---	--	---

Warm-up Time and Simulation Time
 Warm-up Time (Days): 30 Simulation Time (Days): 30 **OK**

Figura 30 - Interface Gráfica - *Parametrization - Fabrics production*.

A parametrização (ver Figura 31) da área dos acabamentos tem uma funcionalidade interessante que visa, através de valores percentuais, reduzir ou aumentar a passagens de malhas e/ou damascos por essas máquinas, tornando o modelo mais realista (zona verde). Além deste dado, os acabamentos proporcionam as mesmas oportunidades de modificação de valores que os seus precedentes, ao nível das velocidades de trabalho das máquinas e dos tamanhos dos rolos à saída desta divisão.

Figura 31 - Interface Gráfica - *Parametrization - Finishing Works*.

4.2. ANIMAÇÃO

A animação de um modelo de simulação tem como objetivo a representação visual deste, mostrando, ao longo do tempo de execução, o fluxo de entidades no sistema. A animação é, cada vez mais, uma importante ferramenta na modelação e simulação de sistemas, pois permite ao utilizador visualizar e inspecionar os seus modelos, fornecendo ao analista informações que seriam mais difíceis obter de outra forma (Pedgen *et al.*, 1995). Um exemplo disso é a verificação do desenvolvimento do modelo, onde o programador verifica se o modelo desenvolvido corresponde ao idealizado, ou seja, se cada bloco previamente disposto e interligado está a desempenhar o seu papel e se não existem erros entre um ou mais processos.

Para a realização da animação do modelo desenvolvido, foram utilizados dois tipos de blocos do *software* ARENA, *station* e *route*. O bloco *station* tem como característica representar cada posto de trabalho existente no sistema real. Já o bloco *route* tem como função interligar cada posto de trabalho (*station*) entre si, de forma a permitir o fluxo de materiais ao longo do sistema. A Figura 32 demonstra a animação do modelo desenvolvido numa simplificação da planta de fábrica, sendo possível visualizar as diferentes secções da empresa e as suas ligações.

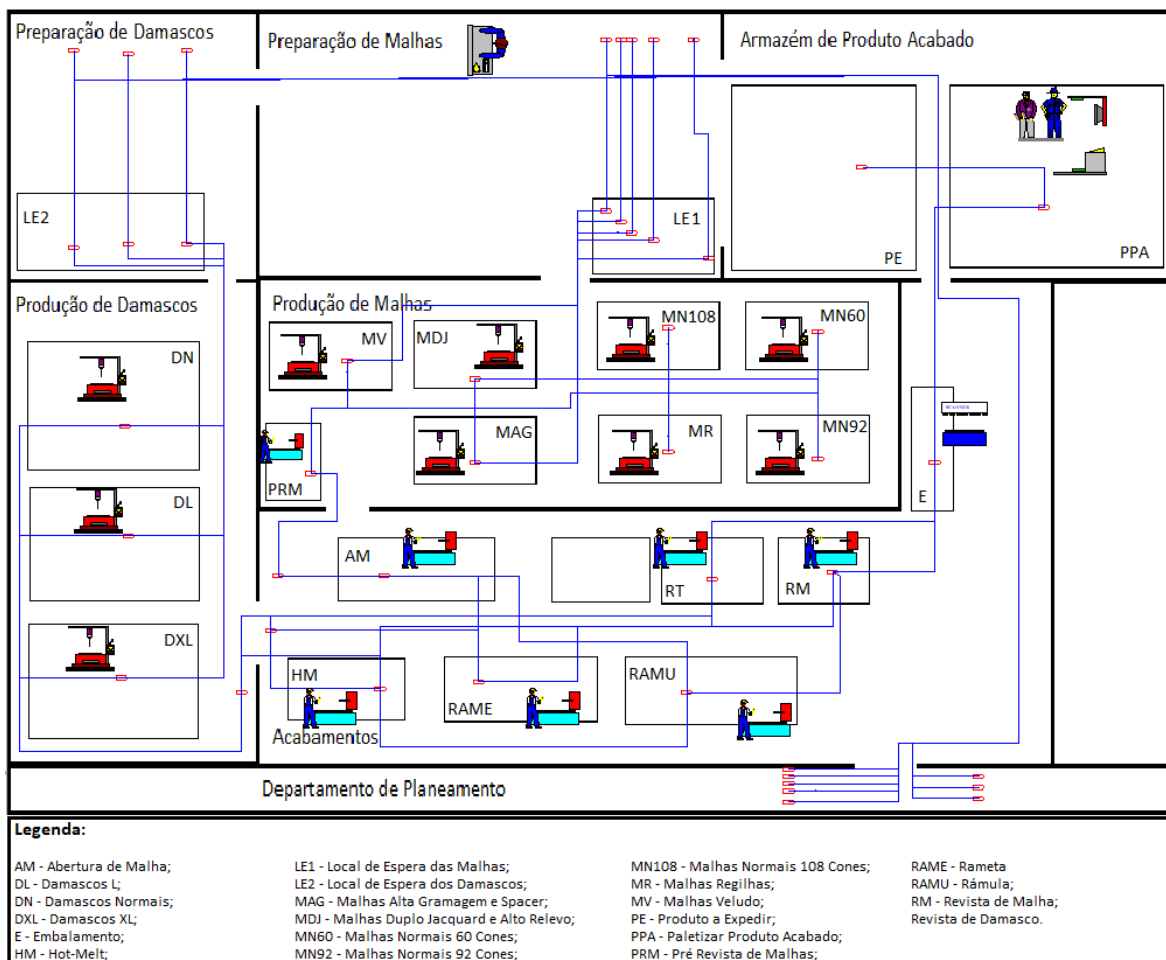


Figura 32 - Exemplo de Animação do Modelo Desenvolvido.

Como dito, cada *station* corresponde a um posto de trabalho, sendo visível por cada ponto de início, interseção ou fim de linha (ponto a vermelho). Quanto às rotas (*routes*), estas são as linhas que ligam cada local (linhas azuis). É de denotar, ainda, que não estão expressas todas as máquinas presentes no sistema real quer na produção de malhas quer na de damascos. Neste caso, existe um agrupamento das máquinas para cada tipo de produto (por exemplo, na zona afeta às malhas de 60 cones estão representadas 6 máquinas).

4.3. MODELO LÓGICO

Através da informação recolhida, quer sobre os fluxos de materiais dentro da fábrica quer sobre os tempos de processamento em cada posto de trabalho, prossegue-se para o desenvolvimento do modelo de simulação que procura, então, representar o sistema real da Duvalli, assim como incluir estratégias que proporcionem a análise de possíveis melhorias a implementar no seio da empresa. Para tal, será utilizado, como dito anteriormente, o *software* de simulação ARENA.

Na Figura 33 está patente o modelo desenvolvido com recurso ao ARENA.

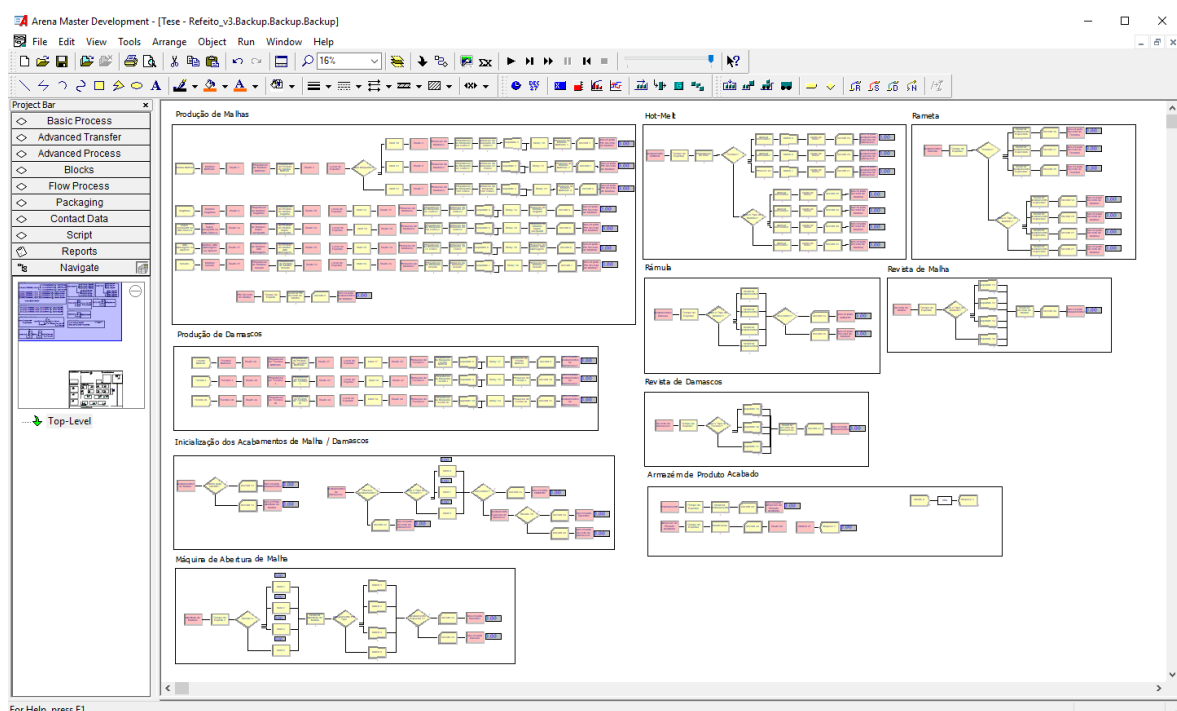


Figura 33 - Modelo de Simulação Desenvolvido com Recurso ao *Software* ARENA.

O desenvolvimento do modelo foi repartido, para uma melhor compreensão e pelo tamanho deste, em diferentes etapas, sendo dividida em Produção, Acabamentos e Expedição.

- **1ª Etapa - Produção**

Esta primeira etapa acarreta o início do plano de produção para um certo produto, ou seja, tem início no armazém de matéria prima e prossegue para a produção efetiva (ver Figura 34).

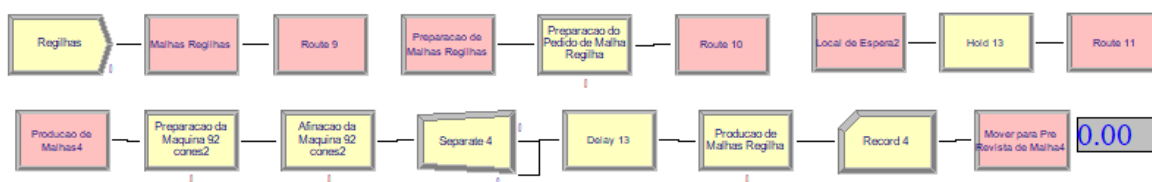


Figura 34 - Exemplo da Realização da Produção de Malhas do Tipo Regilha.

A utilização de diferentes blocos na construção do modelo é uma constante. No exemplo apresentado na imagem anterior encontra-se o procedimento necessário para a produção de malhas do tipo Regilha. Neste caso, são necessários sete tipos de blocos: *Create*, *Station*, *Process*, *Hold*, *Separate*, *Record* e *Route*.

O primeiro bloco, *Create*, tem como função a criação de uma entidade, isto é, a criação de um ou mais pedidos de produção de malha, assim como o intervalo de tempo em que estas entidades são desenvolvidas. Para permitir uma versatilidade ao modelo, foram definidas duas variáveis (*time2* e *entity2*) que guardam os valores inseridos pelo utilizador na aplicação para este bloco (ver Figura 35).

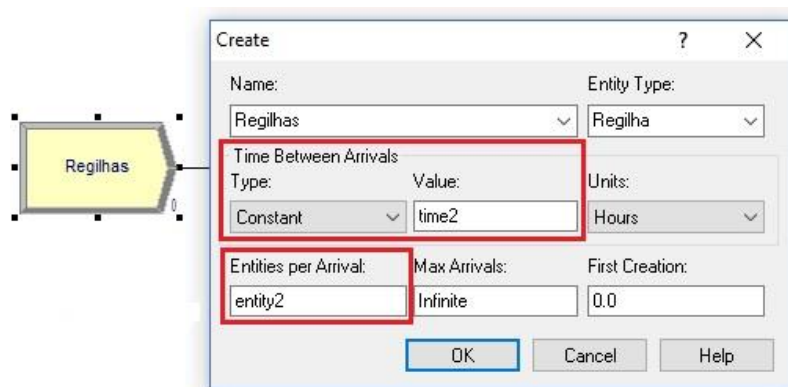


Figura 35 - Exemplo do Bloco *Create* da Malha do Tipo Regilha.

O segundo bloco, *Station*, define este posto como o ponto de início do processo referente às regilhas (ver Figura 36). Aqui, não tem grande notoriedade, porém, é de extrema importância na criação da animação do modelo.

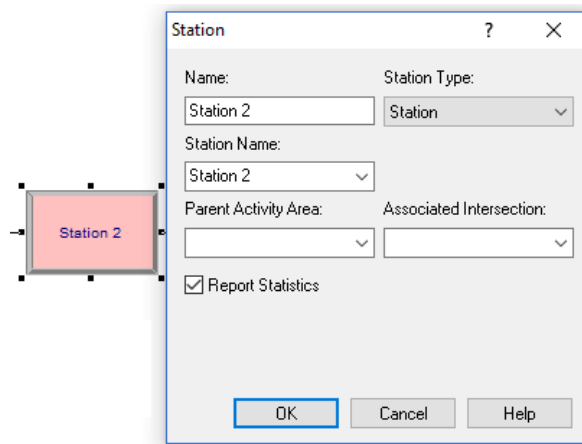


Figura 36 - Exemplo do Bloco *Station* Referente às Regilhas.

O terceiro bloco, *Process*, refere-se ao processo a realizar, definindo-se o tipo de ação a tomar (ao longo deste trabalho utilizou-se sempre a ação de *Seize Delay Release*), a alocação de recursos e os tempos de processamento. Como se pode ver na Figura 37, está enaltecido a verde a expressão correspondente ao tempo que este processo demora a decorrer. Esta expressão é proveniente dos dados recolhidos sobre a preparação de malhas e avaliados no *Input Analyzer* referido na secção anterior.

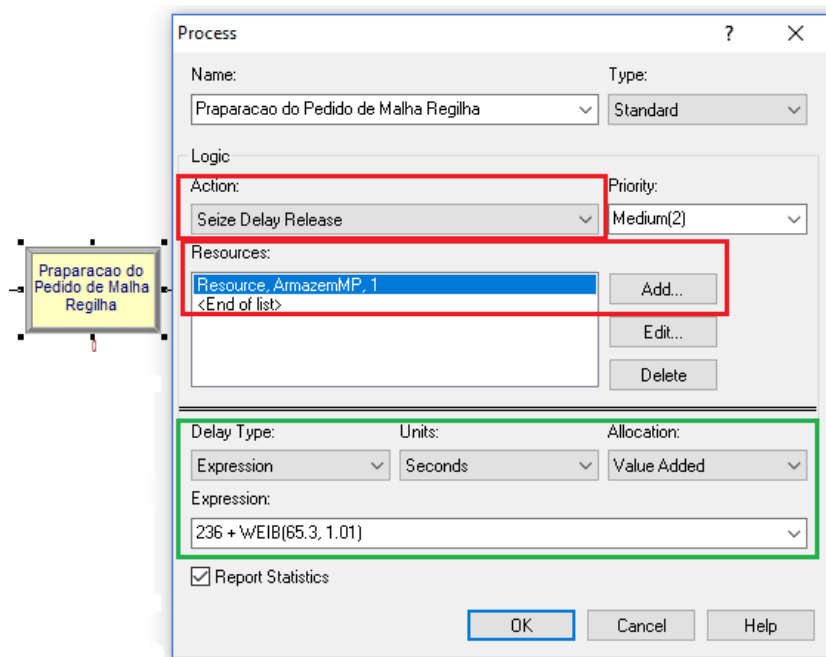


Figura 37 - Exemplo do Bloco *Process* para a Preparação de Regilhas.

De realçar que este bloco, Preparação do Pedido de Malha Regilha, é muito idêntico aos de preparação da máquina, afinação e produção desta, variando apenas os recursos alocados e

os tempos a si afetos, servindo, assim, este exemplo como geral para todos os processos realizados ao longo deste trabalho.

O quarto bloco, *Hold*, é utilizado neste trabalho de duas formas distintas, de acordo com o tipo escolhido (ver Figura 38). Tanto pode estar à espera que uma certa condição seja cumprida para dar seguimento ao fluxo (Área de Produção) como pode estar à espera de um sinal para avançar (Área de Acabamento). Neste caso, utiliza-se a primeira opção e, assim, a condição a ser cumprida é: esperar pelo término da produção da malha atual.

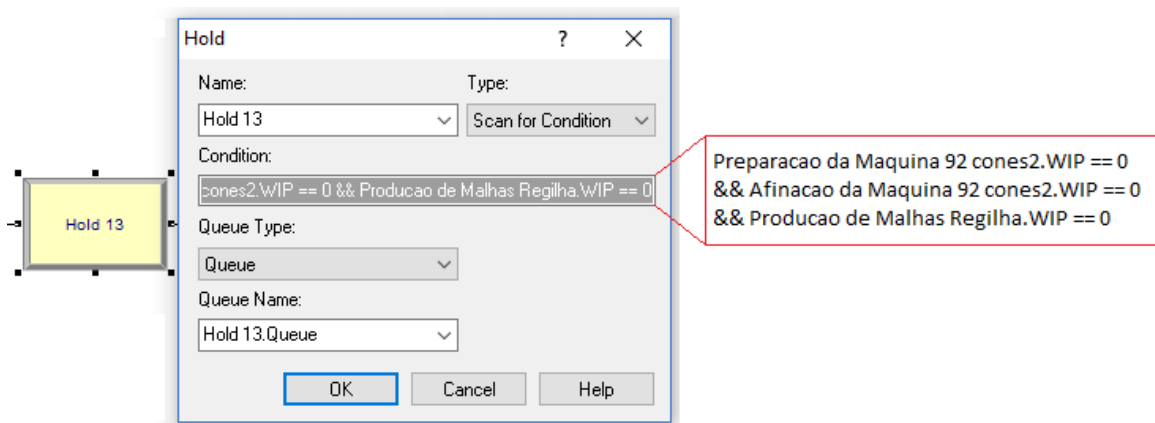


Figura 38 - Exemplo de Bloco *Hold* para a Produção de Regilhas.

O quinto bloco, *Separate*, tem como função o redimensionamento das malhas produzidas, de acordo com os *inputs* dados pelo utilizador, por exemplo, um pedido de produção de regilhas diz que é necessário produzir 1000 metros. Sabendo que uma máquina não tem capacidade de formar rolos de 1000 metros, o utilizador decide, também, o tamanho dos rolos à saída da máquina até estes perfazerem a quantidade desejada. O bloco *separate* permite, então, dividir um rolo maior em diversos menores (ver Figura 39).

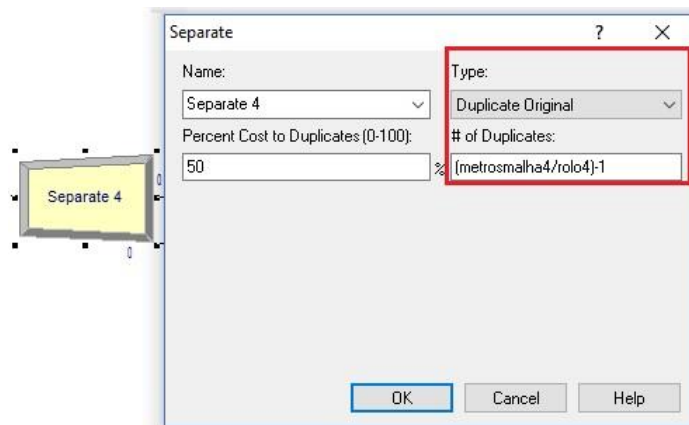


Figura 39 - Exemplo de Bloco *Separate* para Produção de Regilhas.

O sexto bloco, *Record*, tem como função contar o número de malhas produzidas, estando interligado com o bloco (*variable*) que se encontra no final da linha (ver Figura 40).

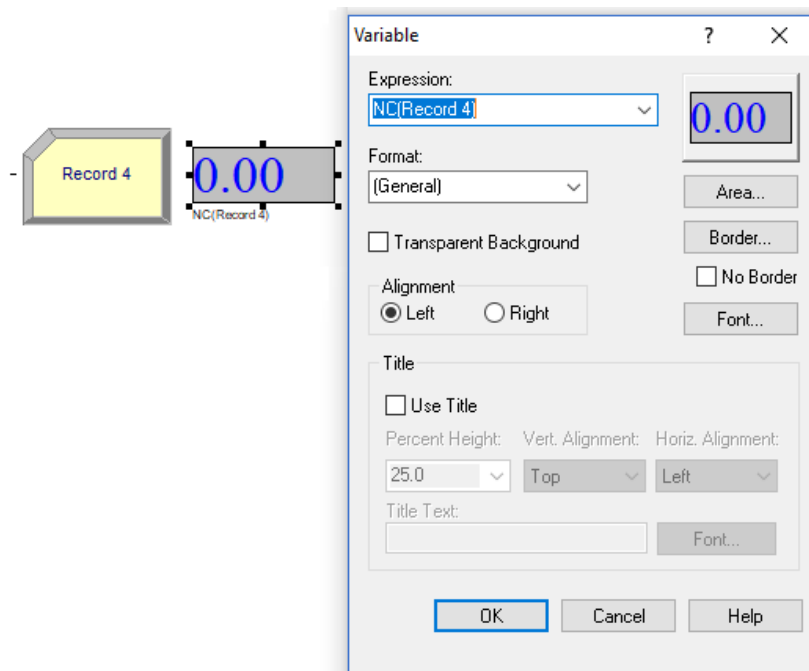


Figura 40 - Exemplo de Bloco *Record* para Produção de Regilhas.

O sétimo e último bloco desta etapa, *Route*, tem como função interligar os diversos departamentos da fábrica por meio de *Stations* sem a necessidade de ligá-las fisicamente, ou seja, tomando como exemplo a produção de regilhas, estas, após produzidas vão para os acabamentos, assim, esse é o trabalho dos blocos *Route* (ver Figura 41).

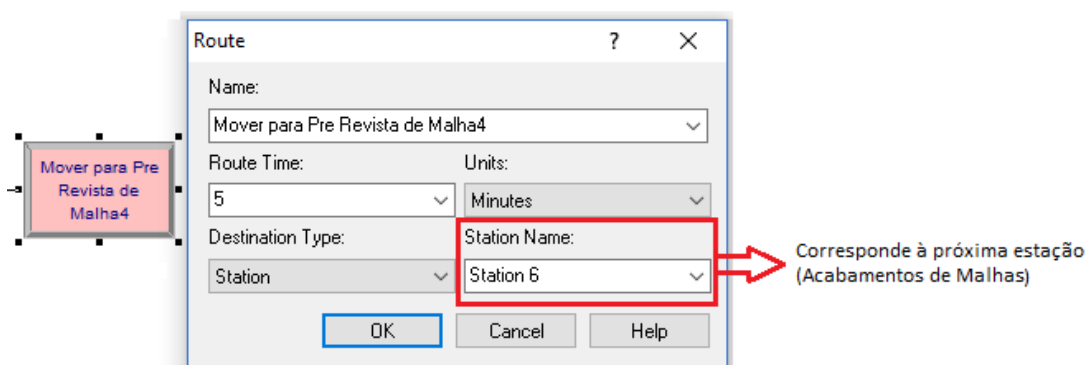


Figura 41 - Exemplo de Bloco *Route* para Produção de Regilhas.

Para todos os outros tipos de malhas e, também, para a produção de damascos foi utilizada a abordagem exposta, sendo que as variações possíveis derivam dos dados inseridos pelo utilizador e dos dados recolhidos e explicados no capítulo anterior.

De salientar que nesta área é possível constatar-se a existência do processo relativo à pré- revista de malha que se prova com uma forma de desenvolvimento semelhante à própria produção (ver Figura 42).

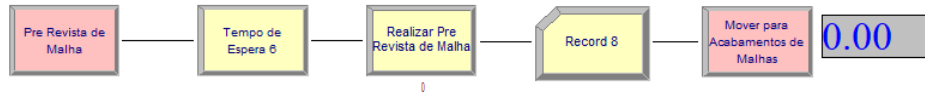


Figura 42 - Exemplo do Processo Relativo à Pré-revista de Malha.

NOTA: No caso dos damascos, a equação relativa ao tempo de produção é diferente das malhas, sendo equivalente à explicada na secção relativa ao tratamento de dados (ver Página 40).

- **2ª Etapa – Acabamentos**

A área de acabamentos da empresa é bastante particular, uma vez que, aqui, se dá uma afluência de todos os produtos fabricados, sejam eles damascos ou malhas. Assim, e tendo como base os fluxogramas apresentados no capítulo anterior sobre este facto, foram criados os processos relativos a cada máquina.

Iniciando-se a explicação sobre a parte do modelo alusivo à máquina de Abertura de Malhas, este abrange três objetivos: a implementação das estratégias, a abertura de malhas em si e a união dos rolos de malha até perfazer a quantidade desejada (ver Figura 43).

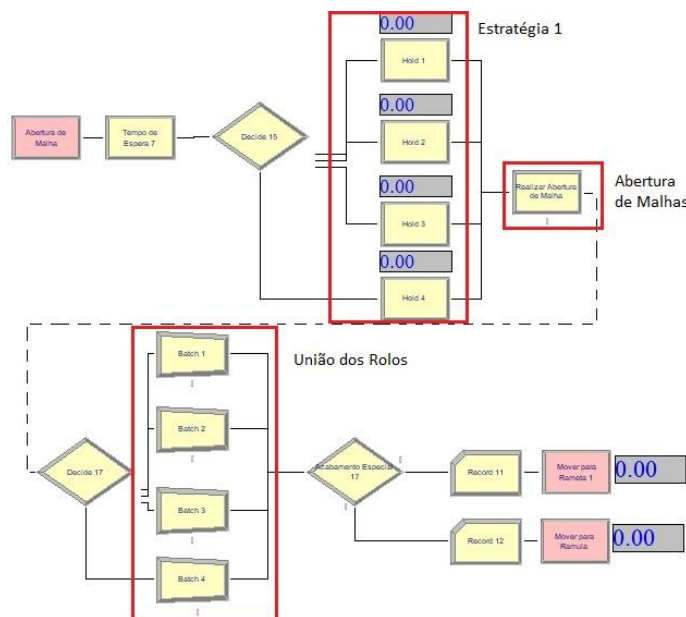


Figura 43 - Exemplo do Processo Relativo à Abertura de Malhas.

Como explicado na etapa anterior, o bloco *Hold* foi utilizado em duas realidades diferentes. Aqui, este espera por um sinal que há-de ser dado a partir da escolha do utilizador sobre qual malha tem prioridade para avançar (ver Figura 44).

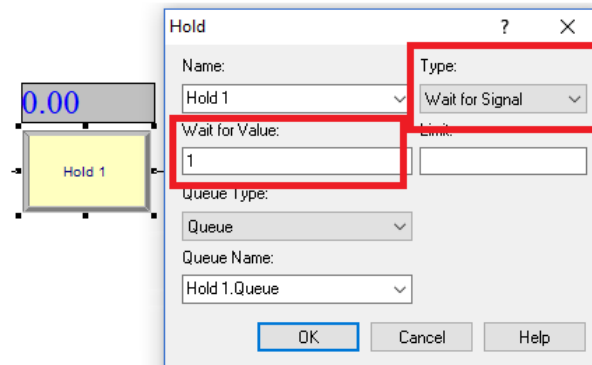


Figura 44 - Exemplo do Bloco *Hold* para o Uso da Estratégia 1.

A abertura de malhas efetiva utiliza um bloco *process*, não existindo diferenças na sua utilização relativa ao explicado na etapa precedente. Quanto à junção de malhas esta é feita com recurso ao bloco *batch* que nos permite unir dois tipos de entidades (ver Figura 45).



Figura 45 - Exemplo de Bloco *Batch* no Processo de Abertura de Malha.

Neste processo existe ainda um outro bloco que não foi abordado, o bloco *decide*. O *decide* tem como função decidir qual o caminho a percorrer a partir deste ponto, ou seja, depois da abertura de malhas existem duas hipóteses para o produto, ou vai para o acabamento especial (Rameta) ou vai para o acabamento standard (Rámula). Na figura 46 pode-se observar esse acontecimento.

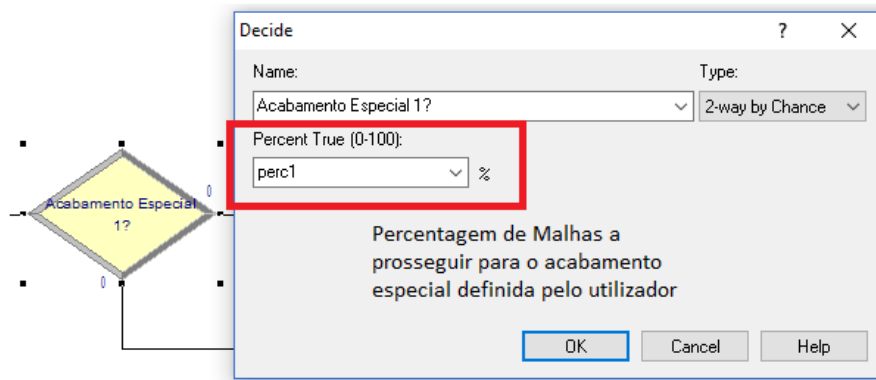


Figura 46 - Exemplo do Bloco *Decide* para o Processo de Abertura de Malhas.

Antes de se prosseguir para as restantes máquinas de acabamentos, é de destacar que o processo de escolha das opções para os diferentes tipos de damascos foi a mesma que a explicada para a abertura de malhas.

Interpretando, então, os acabamentos especiais, apresenta-se, agora, o processo relativo à máquina Rameta onde existem dois tipos de decisão a tomar. Numa primeira instância, separam-se os damascos das malhas e, numa segunda, as malhas nos seus diversos tipos (ver Figura 47).

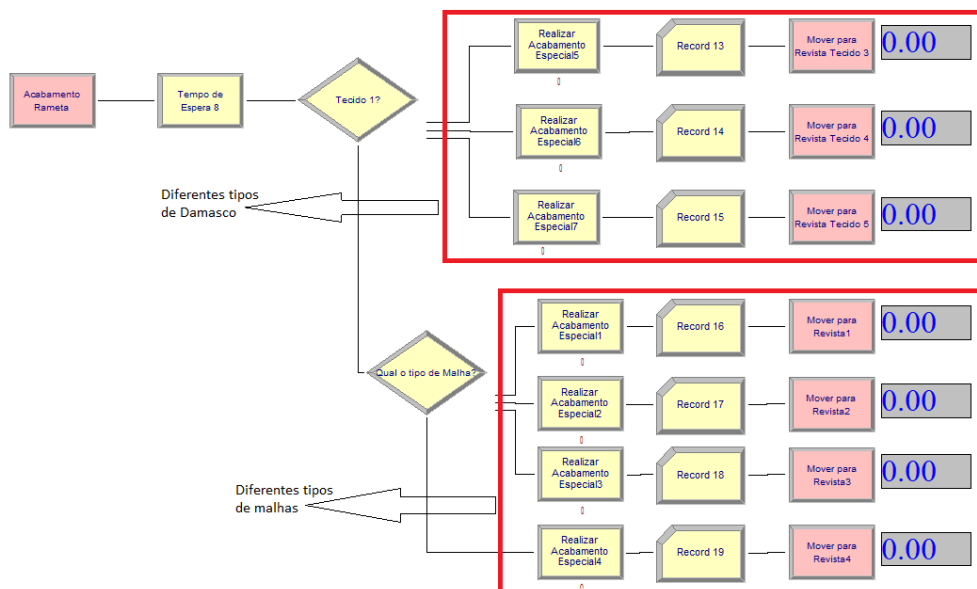


Figura 47 - Exemplo do Processo Relativo aos Acabamentos de Malhas/Damascos.

Relativamente à máquina de acabamentos *standard*, Rámula, esta tem um procedimento muito idêntico à anterior, denotando-se a inexistência de damascos e a existência de uma nova decisão sobre se os produtos devem seguir para a sua revisão ou não. A Figura 48 retrata esta situação.

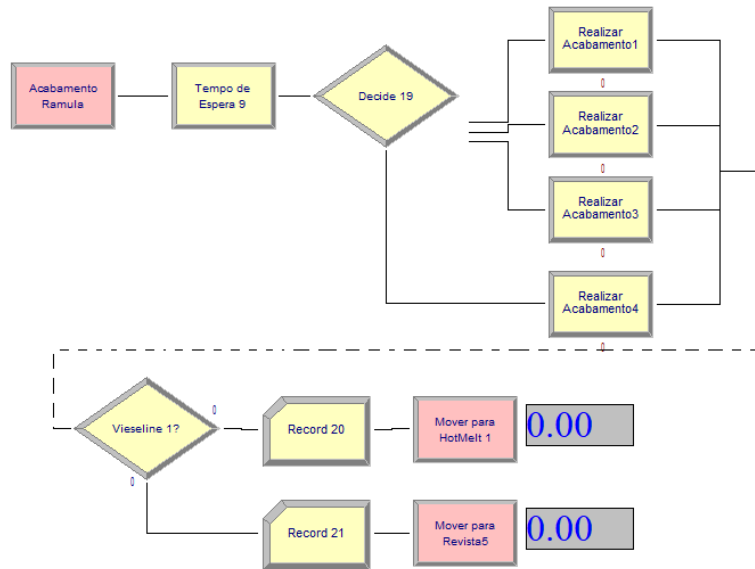


Figura 48 - Exemplo de Processo Relativo aos Acabamentos *Standard* (Rámula).

Quanto à máquina de aplicação de vieseline, Hot-Melt, o processo a si relativo é idêntico ao da Rameta, havendo uma separação por tipos de produtos para a sua concretização. Daqui os produtos têm diferentes destinos, dependendo da sua tipologia, damascos ou malhas (ver Figura 49).

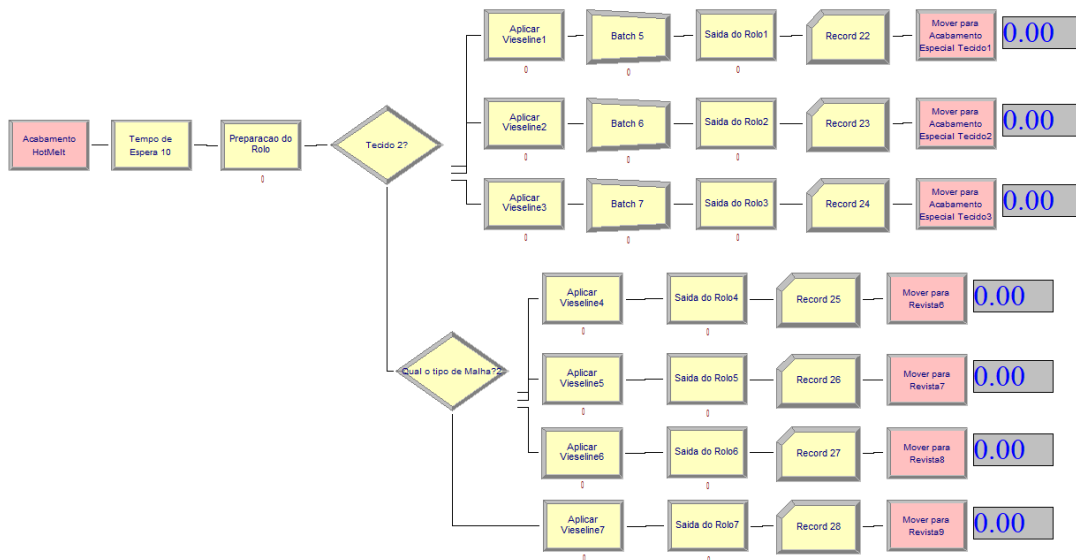


Figura 49 - Exemplo de Processo para a Máquina de Aplicação de Vieseline (Hot-Melt).

Para finalizar os processos relativos aos acabamentos, prossegue-se para as revistas, quer de damascos quer de malhas. O *modus operandi* das máquinas de revista são iguais, independentemente do tipo de artigo, existindo novamente o bloco *separate* que permite

dividir os rolos provenientes das máquinas anteriores em menores de acordo com os dados inseridos pelo utilizador (ver Figura 50).

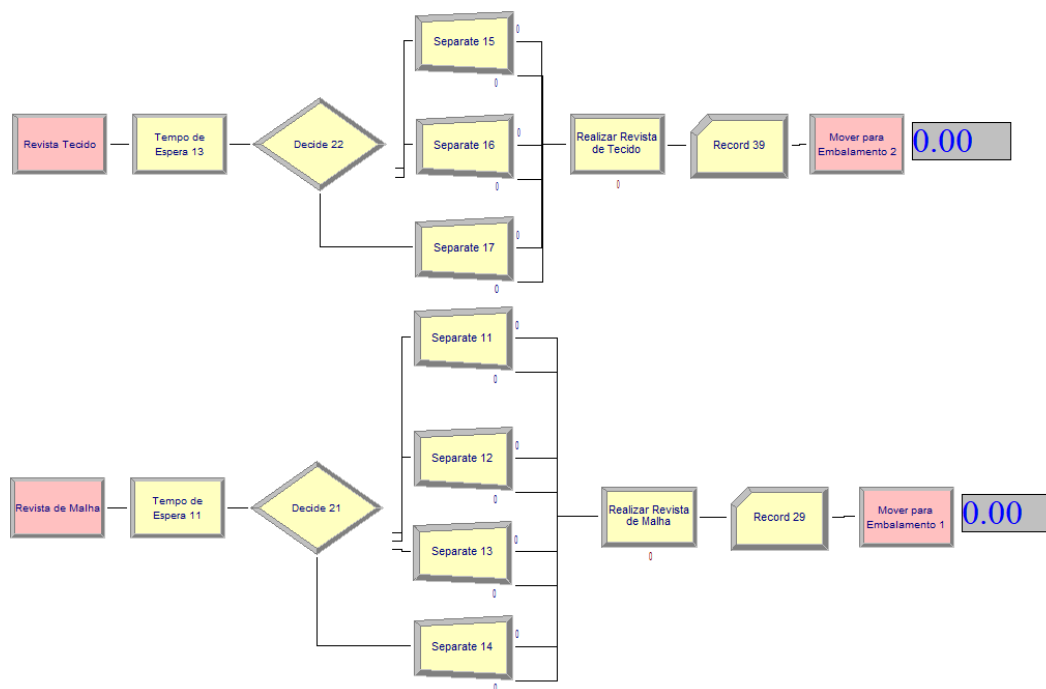


Figura 50 - Exemplo de Revista de Malhas e Damascos.

Com as revisões concluídas, os materiais desenvolvidos passam para a secção de embalagem e, por sua vez, para a área de expedição, tal como explicado na etapa três.

- **3ª Etapa – Expedição**

A construção do modelo culmina na paletização dos artigos produzidos. Mais uma vez, esta atividade acontece no armazém de produto acabado. No processo demonstrado na Figura 51, é patente a manifestação de um novo bloco, *dispose*. Este bloco mostra-se indispensável em qualquer modelo de simulação construído com recurso ao ARENA, visto que este tem como significado o ponto final do modelo.

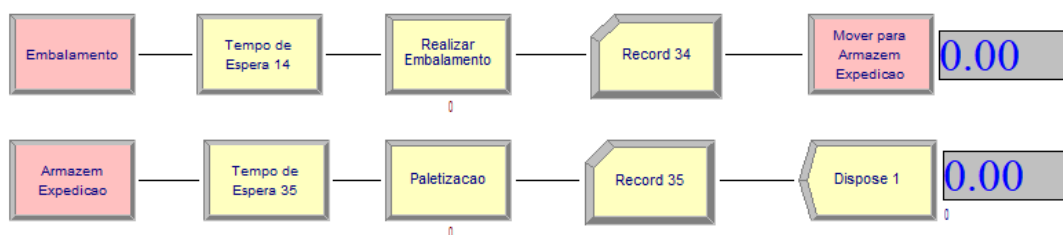


Figura 51 - Exemplo de Processo de Embalamento e Expedição da Empresa Duvalli.

5. VALIDAÇÃO DO SISTEMA DE APOIO À DECISÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Ao longo deste capítulo é realizada a validação do modelo de simulação apresentado nesta dissertação, sendo, depois, apresentados os resultados relativos ao trabalho desenvolvido.

5.1. VALIDAÇÃO DO MODELO DESENVOLVIDO

Após o desenvolvimento do modelo de simulação, existe a necessidade de realizar um estudo para o validar. Esta fase mostra-se de uma importância crucial para o projeto, uma vez que define se o modelo criado é representativo do sistema real ou não, ou seja, tomando como ponto de partida valores provenientes do sistema real (neste caso foram observados o número de rolos de malha e damasco produzidos numa semana), estes são comparados aos valores obtidos no modelo de simulação, tendo em conta as mesmas variáveis de entrada (devido à variabilidade existente no sistema real, foi tomada uma aproximação dos metros produzidos, de forma a não alterar a validação do programa). A Tabela 4 indica a quantidade de rolos produzidos através do processo atual da empresa e os resultados obtidos através do modelo simulação.

Tabela 4 - Validação do Modelo de Simulação.

<i>Tipo de Produto</i>	<i>Tempo de Produção (dias)</i>	<i>Quantidade Produzida</i>	
		<i>Sistema Real</i>	<i>Modelo de Simulação</i>
Malhas	7	850	855
Damascos	7	180	189

Analisando-se a Tabela 4, conclui-se que a variabilidade entre os valores do processo atual e os valores resultantes da simulação é mínima. Em relação às malhas é possível verificar um erro percentual inferior a 1%. Já os damascos apresentam um erro de 5%. Deste modo, conclui-se que os modelos de simulação desenvolvidos são válidos, correspondendo a uma representação correta do processo da Duvalli, havendo, assim, a possibilidade de ser usado como ferramenta de apoio à decisão.

5.2. ANÁLISE DE RESULTADOS

A análise de resultados pode ser definida como um estudo sobre o impacto das estratégias de controlo definidas em comparação com o sistema atual da empresa, no que toca à produção de malhas e damascos num dado intervalo de tempo. Assim sendo, foram observados dados relativos a uma semana (7 dias) de produção, em conjunto com a aplicação de cada uma das cinco estratégias desenvolvidas e da variação de valores resultantes entre cada uma delas para com o sistema real, nas mesmas condições. De destacar que existe um tempo de *warm-up* inicial do sistema de 12 horas para que este alcance um nível estacionário de produção.

5.2.1. ESTRATÉGIA 1 – PRIORIDADE POR TIPO DE ARTIGO

Após a introdução dos parâmetros de entrada, o utilizador seleciona a estratégia pretendida, neste caso a estratégia 1 e define qual o nível de prioridade para cada tipo de malha e damasco. Após isso, a simulação é realizada e retiram-se as devidas elações daí provenientes. Na Figura 52 é possível avaliar a diferença entre o sistema atual e esta estratégia.

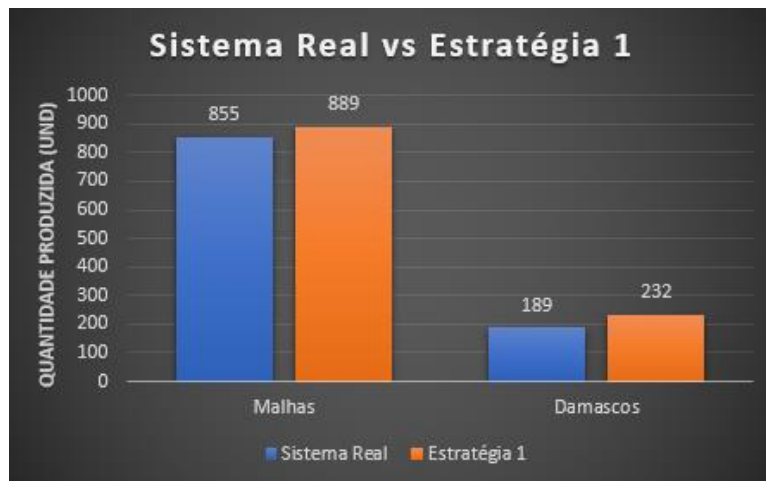


Figura 52 - Valores Comparativos entre o Sistema Real e a Estratégia 1.

Esta primeira estratégia pretende demonstrar que, criando um sistema de prioridades, se permite alcançar um aumento de produtividade quer nas malhas quer nos damascos. A partir do gráfico apresentado (Figura 52) pode-se concluir que a produção de malhas pode sofrer um aumento de pelo menos 4% de rolos produzidos. Já os damascos podem ter um aumento de pelo menos 23%. Salienta-se, ainda, que esta estratégia permite uma redução do tempo de espera do operador da área de abertura de malhas em cerca de 74%, aumentando a capacidade desta máquina e, como consequência, das seguintes.

5.2.2. ESTRATÉGIA 2 – PRIORIDADE POR TAMANHO DA FILA DE ESPERA

Após escolhida a estratégia 2 e parametrizado o modelo com os mesmos valores das anteriores, observam-se os resultados daí provenientes. A Figura 53 retrata, então, uma comparação entre o sistema real e esta estratégia.



Figura 53 - Valores Comparativos entre o Sistema Real e a Estratégia 2.

A estratégia 2 apresenta o mesmo objetivo que a anterior, mas procurando um diferente caminho para alcançar um resultado que permita melhorar quanto mais possível o sistema real da Duvalli, ao nível da produção. Assim como a estratégia 1, esta, apresenta melhorias no que toca à quantidade de rolos produzidos para os dois géneros de produtos, apesar de o impacto apresentado não ser tão grande, sendo que as malhas apresentam um aumento de quase 2% e os damascos apresentam uma melhoria de 16%. Quanto ao tempo de espera do operador da máquina de abertura de malha, esta estratégia permite a diminuição deste tempo em cerca de 63%.

5.2.3. ESTRATÉGIA 3 – MELHORIA DOS FLUXOS DE MATERIAIS EM PONTOS CRÍTICOS

De seguida, procede-se para o estudo do impacto que a terceira estratégia poderá ter no sistema real. Esta estratégia tem como objetivo a otimização dos tempos de rota em pontos críticos da empresa, nomeadamente, entre o armazém de matéria prima e a área de produção de malhas, entre esta e a abertura de malhas e, conseqüentemente, com as diferentes máquinas da área de acabamentos. Assim, esta estratégia procura demonstrar até que ponto uma diminuição do tempo de rota ou mesmo de um processo (preparação de malhas e das máquinas de produção) pode influenciar a produção de rolos, desde que essa diminuição seja plausível. A Figura 54 mostra a diferença do nível de produção entre o sistema real e a estratégia 3.

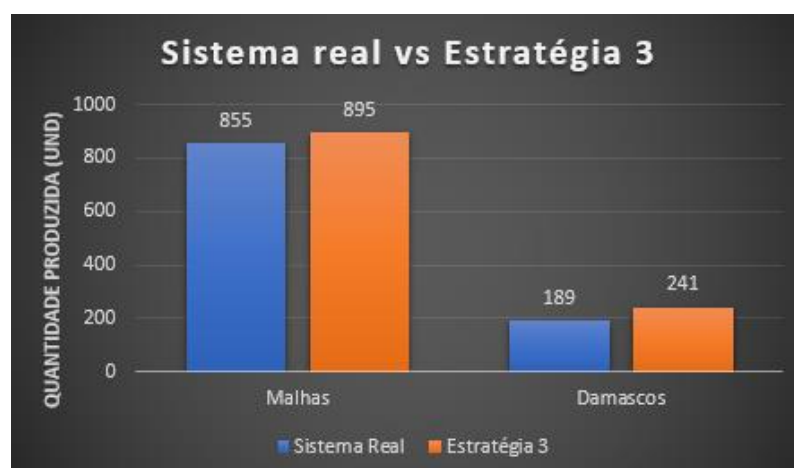


Figura 54 - Valores Comparativos entre o Sistema Real e a Estratégia 3.

A diminuição dos tempos de rota entre postos de trabalho e a diminuição dos tempos de certos processos tem um impacto positivo no sistema. Isto foi alcançado com uma inclusão hipotética de um comboio logístico ao longo da linha de produção e de uma alteração do

modo de preparação das máquinas de produção de malhas (eliminação dos tempos relativos à retirada e colocação de cones na plataforma correspondente, passando esse processo a ser realizado no armazém de matéria prima em conjunto com a preparação das malhas, tornando essa plataforma móvel e reduzindo o tempo do processo em cerca de 99%). Deste modo, é possível alcançar um aumento de pelo menos 5% e 28% de rolos de malha e damascos produzidos, respetivamente. Quanto ao tempo de espera do operador da máquina de abertura de malhas, este é reduzido em cerca de 59%.

5.2.4. ESTRATÉGIA 4 – CROSSOVER ENTRE AS ESTRATÉGIAS 1 E 3

De seguida, apresenta-se a análise relativa aos resultados da estratégia 4 (ver Figura 55).

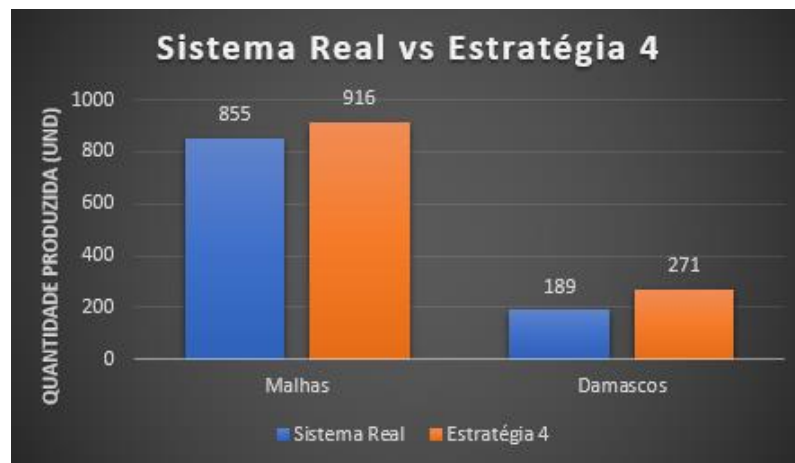


Figura 55 - Valores Comparativos entre o Sistema Real e a Estratégia 4.

Assim como o nome sugere, esta estratégia visa avaliar o impacto que a junção das estratégias 1 e 3 teria no modelo, sendo patente a mesma redução do tempo de processo da preparação das máquinas de produção de malhas em, também, 99% e um maior aumento de produção quando comparado com as estratégias anteriores (aumento de produção de rolos de malha e damascos de, aproximadamente, 7% e 43%, respetivamente em relação ao sistema real). Já no primeiro processo referente à área de acabamentos, o operador aí afeto tem uma redução do seu tempo de espera de cerca de 75%.

5.2.5. ESTRATÉGIA 5 – CROSSOVER ENTRE AS ESTRATÉGIAS 2 E 3

De seguida, na Figura 56, avalia-se o impacto da estratégia 5, um cruzamento entre a estratégia 2 (prioridade pelo tamanho da fila de espera) e a estratégia 3 (melhoria dos fluxos materiais em pontos críticos).

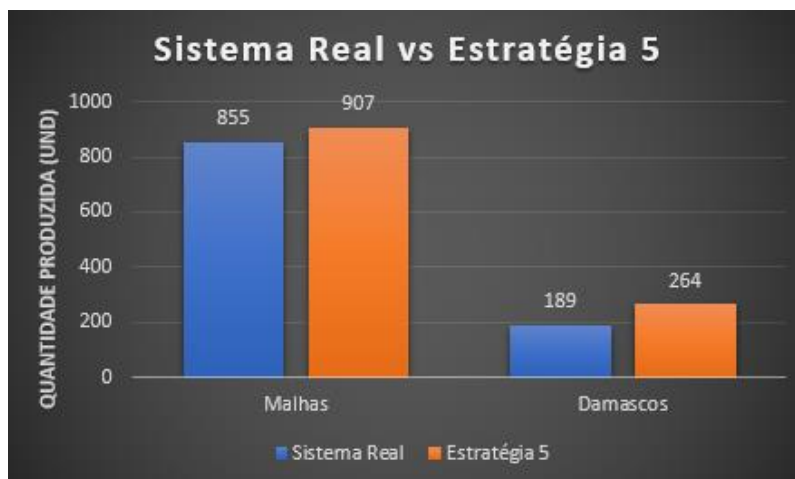


Figura 56 - Valores Comparativos entre o Sistema Real e a Estratégia 5.

O uso da estratégia 5 provou um aumento da quantidade de rolos produzidos quer quando comparada com o sistema real quer quando comparada com as duas estratégias singulares que perfazem esta estratégia. Concluindo, é possível constatar um aumento da produtividade de rolos de malhas de aproximadamente 6%, um aumento relativo ao número de rolos de damascos de aproximadamente 40% e uma redução do tempo de preparação das máquinas de produção de malhas a rondar os 99%. Quanto ao operador da máquina de abertura de malha, este apresenta uma redução do tempo de espera de cerca de 63%.

5.2.6. COMPARAÇÃO ENTRE ESTRATÉGIAS DE CONTROLO

Para uma avaliação sumária das cinco estratégias desenvolvidas, apresenta-se, de seguida, um gráfico (ver Figura 57) comparativo entre os valores de produção relativos a cada uma delas, tecendo-se, depois, as conclusões que daí se podem retirar, tomando como ponto de partida aquela que mais se destaca (estratégia 4) e fazendo uma alusão a possibilidades de aumentar o impacto que cada estratégia pode ter.

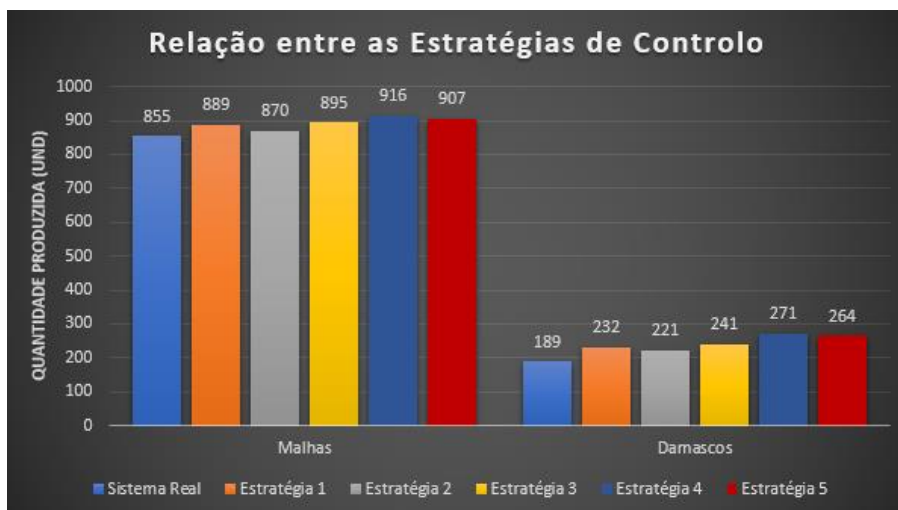


Figura 57 - Comparação entre Estratégias de Controle.

Através do gráfico apresentado constata-se que, para os mesmos valores de entrada, qualquer estratégia utilizada tem um impacto positivo no sistema, sendo que de um ponto de vista singular (estratégias 1, 2 e 3), a estratégia 3 é a que mais se destaca (aumentos de produção de aproximadamente 5 e 28% para rolos de malha e damasco, respetivamente), focando-se na melhoria ou otimização dos tempos de rota entre processos e de certos processos passíveis de melhoria, nomeadamente na área de produção de malhas. De um ponto de vista de cruzamento de estratégias (estratégia 4 e 5), a primeira produz melhores resultados (aumento de 7% de rolos de malha e de 43% de rolos de damasco), procurando o uso de prioridades por tipo de artigo para diminuir os *bottlenecks* no início da área de acabamentos e a diminuição dos tempos de rota e de processos para acelerar a produção em si.

De denotar que esta avaliação é centrada num tempo de estudo de uma semana, sendo plausível afirmar que, aumentado a janela de tempo, a produção tem um aumento mais significativo. Para além disso, com a alteração dos valores relativos à parametrização do sistema (principalmente em relação à velocidade de processamento das máquinas), prevê-se que as melhorias apresentadas por cada uma das estratégias sejam ampliadas.

6. CONCLUSÃO E TRABALHO FUTURO

A presente dissertação foi desenvolvida no âmbito da unidade curricular de Tese e Dissertação (TEDI) do Curso de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, no ramo de Sistema e Planeamento Industrial, tendo sido realizado em contexto industrial na empresa Duvalli Mattress Ticking.

Ao longo deste trabalho foi abordada a descrição de uma ferramenta de apoio à decisão baseada em simulação, com o objetivo de analisar e propor soluções de melhoria para os processos de abastecimento das diferentes secções da empresa em questão. Assim, de seguida, são apresentadas as principais conclusões do trabalho, as dificuldades sentidas, os contributos científicos e sugestões para um desenvolvimento futuro do modelo criado.

6.1. TRABALHO REALIZADO

O sistema desenvolvido foi baseado no *software* de simulação ARENA e compreendeu dois estágios distintos que se complementam, o desenvolvimento do modelo de simulação e a construção da interface gráfica com o utilizador que permite, a este, a partir da introdução de certas variáveis de entrada, determinar qual a estratégia a implementar. Com recurso à análise de resultados realizada no capítulo anterior, verificou-se que, através do

uso da simulação e do desenvolvimento de estratégias de controlo, existem diversas possibilidades de melhoria para o sistema atual da empresa em causa. Na Tabela 5 apresenta-se a informação relativa à avaliação de desempenho realizada.

Tabela 5 - Resultados da Avaliação de Desempenho Realizada.

<i>Estratégia</i>	<i>Descrição</i>	<i>Resultados</i>
Estratégia 1	Definir a prioridade por tipo de artigo à saída da produção de malhas e damascos	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento de produção de malha em 4% • Aumento da produção de damascos em 23% • Diminuição do tempo de espera na abertura de malhas de 74%
Estratégia 2	Definir a prioridade por tamanho da fila de espera à saída da produção de malhas e damascos	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento de produção de malha em 2% • Aumento da produção de damascos em 16% • Diminuição do tempo de espera na abertura de malhas de 63%
Estratégia 3	Melhoria dos fluxos de materiais em pontos críticos (rotas e processos)	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento de produção de malha em 5% • Aumento da produção de damascos em 28% • Diminuição do tempo de preparo das máquinas de produção de malha em 99% • Diminuição do tempo de espera na abertura de malhas de 59%
Estratégia 4	Cruzamento em a estratégia 1 e 3	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento de produção de malha em 7% • Aumento da produção de damascos em 43% • Diminuição do tempo de preparo das máquinas de produção de malha em 99% • Diminuição do tempo de espera na abertura de malhas de 75%
Estratégia 5	Cruzamento em a estratégia 2 e 3	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento de produção de malha em 6% • Aumento da produção de damascos em 40% • Diminuição do tempo de preparo das máquinas de produção de malha em 99% • Diminuição do tempo de espera na abertura de malhas de 63%

Com os dados patentes na tabela 5, chega-se à conclusão que qualquer uma das estratégias desenvolvidas pode ser implementada no sistema real, provando a existência de melhorias

significativas no sistema para um determinado intervalo de tempo (7 dias), sendo que a estratégia 4 é aquela que mais se destaca.

6.2. CONTRIBUTOS CIENTÍFICOS

De um ponto de vista científico, nesta dissertação, foram desenvolvidas cinco estratégias de controlo, cujo objetivo visa dar ao utilizador o apoio aquando da tomada de decisão, dependendo dos resultados provenientes da simulação de uma ou mais linhas de produção, provando que o recurso à simulação é ideal no setor industrial e não só como ferramenta de apoio à decisão.

Neste âmbito, o presente trabalho vai ser apresentado no Encontro Nacional de Engenharia de Gestão Industrial 2018 (ENEGI2018), que vai decorrer, nos próximos dias 25 e 26 de Setembro, na Universidade do Minho (ver Anexo I).

6.3. DIFICULDADES ENCONTRADAS

Durante a realização deste trabalho, as principais dificuldades encontradas centraram-se, numa primeira hora, sobre o conhecimento nulo relativo ao *software* utilizado (ARENA), levando a uma necessidade inicial de aprendizagem com recurso ao apoio fornecido pelo próprio *software* no que toca ao desenvolvimento base de um modelo de simulação. Numa segunda fase, deparou-se com uma escassez de literatura específica relativa à interface de programação do ARENA e à relação deste com o modelo de simulação desenvolvidos, nomeadamente, na relação comunicativa entre as variáveis de entrada e as estratégias de controlo com o modelo base.

6.4. PERSPETIVAS DE TRABALHO FUTURO

Como perspetivas de trabalho futuro, destacam-se algumas ideias que procuram dar continuidade ao trabalho realizado, nomeadamente:

- Procurar uma representação ainda mais fiel do sistema real, através da inclusão de probabilidades de erros nos produtos produzidos e nas paragens forçadas ou não das máquinas, uma vez que os dados observados no sistema atual e utilizados no modelo de simulação representam uma situação ideal de funcionamento, não tendo existido nenhuma contrariedade durante esse tempo de estudo.

- Alterar a forma de inserção dos parâmetros de entrada no sistema, sendo que a solução pode passar pela utilização de um ficheiro externo com o plano de produção, permitindo a avaliação do sistema numa escala de tempo mais longa.
- Desenvolver novos tipos de estratégias e procurar aplicar as atuais e as futuras quer a um nível global do sistema (empresa toda) quer a um nível específico (uma só área ou máquina).

Referências Bibliográficas

- Abdulmalek, F. A., & Rajgopal, J. (2007). Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study. *Production Economics*, 107, pp. 223-236. doi:10.1016/j.ijpe.2006.09.009
- Andrade, P. F., Pereira, V. G., & Del Conte, E. G. (2016). Value stream mapping and lean simulation: a case study in automotive company. *Int J Adv Manuf Technol*, 85, pp. 547–555. doi:10.1007/s00170-015-7972-7
- Balan, S. (2017). Using simulation for process reengineering in refractory ceramics manufacturing - a case study. *Int J Adv Manuf Technol*, 93, pp. 1761–1770. doi:10.1007/s00170-017-0602-9
- Banks, J. (2000). Introduction to Simulation. *Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference*, J. A. Joines, R. R. Barton, K. Kang, and P. A. Fishwick, eds.
- Bartkowiak, T., & Pawlewski, P. (2016). Reducing Negative Impact of Machine Failures on Performance of Filling and Packaging Production Line – A Simulative Study. *Proceedings of the 2016 Winter Simulation Conference*, T. M. K. Roeder, P. I. Frazier, R. Szechtman, E. Zhou, T. Huschka, and S. E. Chick, eds., pp. 2912-2923.
- Benedettini, O., & Tjahjono, B. (2008). Towards an improved tool to facilitate simulation modeling. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, pp. 191-199.
- Benedettini, O., & Tjahjono, B. (2008). Towards an improved tool to facilitate simulation modeling of complex manufacturing systems. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, pp. 191-199.
- Biele, A., & Mönch, L. (2015). Using Simulation to Improve Planning Decisions in Mixed-Model Assembly Lines. *Proceedings of the 2015 Winter Simulation Conference*, L. Yilmaz, W. K. V. Chan, I. Moon, T. M. K. Roeder, C. Macal, and M. D. Rossetti, eds., pp. 2148-2159.
- Bucková, M., Krajcovic, M., & Edl, M. (2017). Computer simulation and optimization of transport distances of order picking processes. *TRANSCOM 2017: International scientific conference on sustainable, modern and safe transport*, *Procedia Engineering* 192 (2017) 69 – 74.
- Byers, K. L., Chung, T. H., & Johnson, R. T. (2010). Modeling and Analysis of Tactical Installation Protection Missions. *Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference*, B. Johansson, S. Jain, J. Montoya-Torres, J. Hagan, and E. Yücesan, eds., pp. 1347-1355.
- Cabrera, E., Taboada, M., Iglesias, M. L., Epelde, F., & Luque, E. (2012). Simulation Optimization for Healthcare Emergency Departments. *International Conference on Computational Science, ICCS 2012*, *Procedia Computer Science* 9 (2012) 1464 – 1473.
- Carillo, M., Cordasco, G., Serrapica, F., Scarano, V., Spagnuolo, C., & Szufel, P. (2017). Distributed simulation optimization and parameter exploration framework for the cloud. *Simulation Modelling Practice and Theory*, pp. 108-123. doi:10.1016/j.simpat.2017.12.005

- Carson II, J. S. (2005). Introduction to Modeling and Simulation. *Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference*, M. E. Kuhl, N. M. Steiger, F. B. Armstrong, and J. A. Joines, eds., pp. 16-23.
- Cebral-Fernández, M., Rouco-Couzo, M., Pazos, M. Q., Crespo-Pereira, D., del Valle, A. G., & Abeal, R. M. (2017). Application of a Multi-Level Simulation Model for Aggregate and Detailed Planning in Shipbuilding. *Proceedings of the 2017 Winter Simulation Conference*, W. K. V. Chan, A. D'Ambrogio, G. Zacharewicz, N. Mustafee, G. Wainer, and E. Page, eds., pp. 3864-3875.
- Coimbra, E. A. (2009). *Total Flow Management: Achieving Excellence with Kaizen and Lean Supply Chains*. Kaizen Institute.
- Coimbra, E. A. (2013). *Kaizen in Logistics and Supply Chains*. McGraw-Hill Education.
- Dal Forno, A. J., Pereira, F. A., Forcellini, F. A., & Kipper, L. M. (2004). Value Stream Mapping: a study about the problems and challenges found in the literature from the past 15 years about application of Lean tools. *Springer-Verlag London, Int J Adv Manuf Technol (2014)*, 72, pp. 779–790. doi:10.1007/s00170-014-5712-z
- Dias, L. M., Vieira, A. A., Pereira, G. A., & Oliveira, J. A. (2016). Discrete Simulation Software Ranking – a Top list of the Worldwide most Popular and Used Tools. *Proceedings of the 2016 Winter Simulation Conference*, T. M. K. Roeder, P. I. Frazier, R. Szechtman, E. Zhou, T. Huschka, and S. E. Chick, eds., pp. 1060-1071.
- Díaz, J. A., & Pérez, I. G. (2000). Simulation and Optimization of Sugar Cane Transportation in Harvest Season. *Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference*, J. A. Joines, R. R. Barton, K. Kang, and P. A. Fishwick, eds., pp. 1114-1117.
- Esher, L., Hall, S., Regnier, E., Sánchez, P. J., Hansen, J. A., & Singham, D. (2010). Simulating Pirate Behavior to Exploit Environmental Information. *Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference*, B. Johansson, S. Jain, J. Montoya-Torres, J. Hukan, and E. Yücesan, eds., pp. 1330-1335.
- Ferreira, L. P. (2003). Geração Automática de Modelos de Simulação de uma Linha de Produção na Indústria Eletrónica, do curso de Mestrado em Engenharia Industrial - Especialização em Logística e Distribuição, Escola de Engenharia da Universidade do Minho, Braga.
- Ferreira, L. P., Ares Gómez, E., Lourido, G. C., Diéguez Quintas, J., Tjahjono, B., & Quintas, J. D. (2011). Analysis and optimisation of a network of closed-loop. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, pp. 351-366.
- Ferreira, L. P., Gómez, E. A., Lourido, G. P., Lázaro, A. R., Pérez, C. L., & Tjahjono, B. (2012). Simulation of a Closed-Loops Assembly Line. *Key Engineering Materials*. doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.502.127
- Ferreira, L. P., Pereira, G. A., & Machado, R. J. (2005). Geração Automática de Modelos de Simulação de uma Linha de Montagem de Auto-Rádios. *Investigação Operacional*, 25 (2005) 37-62 37.
- Freens, J. P., Adan, I. J., Pogromsky, A. Y., & Ploegmakers, H. (2015). Automating the Production Planning of a 3D Printing Factory. *Proceedings of the 2015 Winter Simulation Conference*, L. Yilmaz, W. K. V. Chan, I. Moon, T. M. K. Roeder, C. Macal, and M. D. Rossetti, eds., pp. 2136-2147.

- Haysman, A. (2016). Obtido em 14 de Julho de 2018, de <https://trilogiq.es>: <https://trilogiq.es/la-actitud-kaizen-es-el-motor-de-la-empresa-en-la-lucha-contra-los-mudas/>
- Hu, L., Glaser, P., & Luttrell, R. (2015). Virtual Kitchen Simulation. *Proceedings of the 2015 Winter Simulation Conference*, L. Yilmaz, W. K. V. Chan, I. Moon, T. M. K. Roeder, C. Macal, and M. D. Rossetti, eds., pp. 892-893.
- Hunter, S. L., Bullard, S. H., Steele, P. H., & Motsenbocker, W. D. (2004). Parallel pull flow: A new lean production design. *Faculty Publications. Paper 40*.
- Ichikawa, H. (2009). Simulating an Applied Model to Optimize Cell Production and Parts Supply (Mizusumashi) for Laptop Assembly. *Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference*, pp. 2272-2280.
- Ingalls, R. G., & White, Jr., K. P. (2017). The Basics of Simulation. *Proceedings of the 2017 Winter Simulation Conference*, W. K. V. Chan, A. D'Ambrogio, G. Zacharewicz, N. Mustafee, G. Wainer, and E. Page, eds, pp. 505-519.
- Jian, N., & Henderson, S. G. (2015). An Introduction to Simulation Optimization. *Proceedings of the 2015 Winter Simulation Conference*, L. Yilmaz, W. K. V. Chan, I. Moon, T. M. K. Roeder, C. Macal, and M. D. Rossetti, eds., pp. 1780-1794.
- Jian, N., Freund, D., Wiberg, H. M., & Henderson, S. G. (2016). Simulation Optimization for a Large-Scale Bike-Sharing System. *Proceedings of the 2016 Winter Simulation Conference*, T. M. K. Roeder, P. I. Frazier, R. Szechtman, E. Zhou, T. Huschka, and S. E. Chick, eds., pp. 602-613.
- Jingsheng Shi, J. (2001). Practical Approaches for Validating a Construction Simulation. *Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference*, B. A. Peters, J. S. Smith, D. J. Medeiros, and M. W. Rohrer, eds., pp. 1534-1540.
- Kelton, W. D., Sadowski, R. P., & Sturrock, D. T. (2007). *Simulation with Arena* (4^o ed.). New York: McGraw Hill.
- Kretzschmar, N., Ituarte, I. F., & Partanen, J. (2018). A decision support system for the validation of metal powder bed-based additive manufacturing applications. *Int J Adv Manuf Technol*(96), pp. 3679–3690. doi:10.1007/s00170-018-1676-8
- Ladbrook, J., Tjahjono, B., de Sanabria Sales, R. R., Rueda, A. G., Lizarazu, U., & Temple, C. (2010). Simulation study for investment decisions on the EcoBoost camshaft machining line. *Proc. IMechE Vol. 225 Part B: J. Engineering Manufacture*, 225, pp. 2124-2137. doi:10.1177/0954405411393665
- Law, A. M. (2007). *Simulation Modeling and Analysis* (5^o ed.). McGraw-Hill, Inc.
- Leanop. (2018). <http://leanop.com>. Obtido em 14 de Julho de 2018, de <http://leanop.com/cms/glossario/>
- Liong, C. Y. (2009). A Simulation Study of Warehouse Loading and Unloading Systems Using ARENA. *Journal of Quality Measurement and Analysis*, pp. 45-46.
- Mourtzis, D., Doukas, M., & Bernidaki, D. (2014). Simulation in Manufacturing: Review and Challenges. *Procedia CIRP*, 25, pp. 213-229. doi:10.1016/j.procir.2014.10.032

- Nyemba, W. R., & Mbohwa, C. (2017). Modeling, Simulation and Optimization of the Materials Flow of a multi-product assembling plant. *Procedia Manufacturing*, 8, pp. 59-66. doi:10.1016/j.promfg.2017.02.007
- Opacic, L., Sowlati, T., & Mobini, M. (2018). Design and development of a simulation-based decision support tool to improve the production process at an engineered wood products mill. *International Journal of Production Economics*, 199, pp. 209-219. doi:10.1016/j.ijpe.2018.03.010
- Osidach, V. Z., & Fu, M. C. (2003). Computer Simulation of a Mobile Examination Center. *Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference*, S. Chick, P. J. Sánchez, D. Ferrin, and D. J. Morrice, eds., pp. 1868-1875.
- Pasupathy, R., & Nagaraj, K. (2015). Modeling Dependence in Simulation Input: The Case for Copulas. *Proceedings of the 2015 Winter Simulation Conference*, L. Yilmaz, W. K V. Chan, I. Moon, T. M. K. Roeder, C. Macal, and M. D. Rossetti, eds., pp. 1850-1864.
- Pedgen, C. D., Shannon, R. E., & Sadowski, R. P. (1995). *Introduction to Simulation Using Siman*. McGraw-Hill College.
- Peirleitner, A. J., Altendorfer, K., & Felberbauer, T. (2017). Simulation Based Manufacturing System Improvement Focusing on Capacity and MRP Decisions – A Practical Case From Mechanical Engineering. *Proceedings of the 2017 Winter Simulation Conference*, W. K. V. Chan, A. D'Ambrogio, G. Zacharewicz, N. Mustafee, G. Wainer, and E. Page, eds., pp. 3876-3887.
- Persson, F., Axelsson, M., Edlund, F., Lanshed, C., Lindström, A., & Persson, F. (2017). Using Simulation to Determine the Safety Stock Level for Intermittent Demand. *Proceedings of the 2017 Winter Simulation Conference*, W. K. V. Chan, A. D'Ambrogio, G. Zacharewicz, N. Mustafee, G. Wainer, and E. Page, eds., pp. 3768-3779.
- Plex. (2017). <http://www.industryweek.com>. Obtido em 14 de Julho de 2018, de <http://www.industryweek.com/cloud-computing/push-vs-pull-manufacturing-kanban-pull-system-right-your-company>
- Rockwell Automation, I. (2018). *About Us*. Obtido em 20 de Junho de 2018, de <https://www.rockwellautomation.com>: <https://www.rockwellautomation.com/global/about-us/overview.page?pagetitle=Our-Company&docid=d56238b9aed19ae573610a1eed5cd5ed>
- Rossetti, M. D., & Ni, Q. (2010). Simulating Large-Scale Evacuation Scenarios in Commercial Shopping Districts – Methodologies and Case Study. *Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference*, B. Johansson, S. Jain, J. Montoya-Torres, J. Hukan, and E. Yücesan, eds., pp. 3494-3505.
- Sebastiani, M. T., Lüders, R., & Fonseca, K. V. (2014). Allocation of Charging Stations in an Electric Vehicle Network Using Simulation Optimization. *Proceedings of the 2014 Winter Simulation Conference*, A. Tolk, S. Y. Diallo, I. O. Ryzhov, L. Yilmaz, S. Buckley, and J. A. Miller, eds., pp. 1073-1083.
- Shannon, R. E. (1998). Introduction to the Art and Science of Simulation. *Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference*, D.J. Medeiros, E.F. Watson, J.S. Carson and M.S. Manivannan, eds., pp. 7-14.

- Troficolor. (s.d.). <http://www.troficolor.pt>. Obtido em 20 de Maio de 2018, de <http://www.troficolor.pt/pt/download>
- Viana, H. A. (2017). *Melhoria do Processo de Picagem da Empresa SNA EUROPE através da Simulação*. ISEP.
- Vitanov, V., Tjahjono, B., & Marghalany, I. (2007). A decision support tool to facilitate the design of cellular manufacturing layouts. *Computers & Industrial Engineering*, 52, pp. 380-403. doi:10.1016/j.cie.2007.01.003
- Wagner, G. (2016). Introduction to Simulation Using JavaScript. *Proceedings of the 2016 Winter Simulation Conference*, T. M. K. Roeder, P. I. Frazier, R. Szechtman, E. Zhou, T. Huschka, and S. E. Chick, eds., pp. 148-162.
- Wery, J., Marier, P., Gaudreault, J., Chabot, C., & Thomas, A. (2015). Improving a Hardwood Flooring Cutting System Through Simulation and Optimization. *Proceedings of the 2015 Winter Simulation Conference*, L. Yilmaz, W. K. V. Chan, I. Moon, T. M. K. Roeder, C. Macal, and M. D. Rossetti, eds., pp. 2172-2182.

Anexos

Anexo A. Preparação dos Cones para Produção de Malha - Dados

Tabela 6 - Preparação dos Cones para Produção de Malhas.

	Processamento (min)	Processamento (seg)
	7,01	421
4,01	241	
4,26	266	
5,16	316	
5,03	303	
4,03	243	
6,56	416	
4,48	288	
4,33	273	
4,06	246	
4,49	289	
3,56	236	
4,1	250	
4,23	263	
5,01	301	
6,26	386	
5	300	
6,49	409	
5,11	311	
4,48	288	
4,42	282	
4,22	262	
4,29	269	
6,02	362	
5,53	353	
5,46	346	
5,09	309	
4,33	273	
4,31	271	
4,2	260	

Anexo B. Produção de Malhas - Dados

Esta primeira tabela é referente aos tempos de preparação da máquina, mais precisamente, do tempo necessário para efetuar a troca de cones.

Tabela 7 - Tempo de Preparação das Máquinas (Retirar e Colocar Cones).

	Arranjar fios	Tirar Cones	Meter		Arranjar	Tirar Cones	Meter
	(seg)	(seg)	Cones (seg)		fios (seg)	(seg)	Cones (seg)
Tempo de Preparação da Máquina (Retirar e Meter Cones)	9,09	7,06	2,96	Tempo de Preparação da Máquina (Retirar e Meter Cones) – Continuação	7,41	5,31	5,97
	11,37	10,8	3,01		7,66	6,07	3,59
	6,33	12,95	1,28		5,32	3,79	3,66
	5,88	5,9	2,28		6,63	3,51	4,12
	6,13	6,13	2,19		6,88	2,95	3,33
	7,15	5,98	2,03		3,3	3	3,61
	6,14	4,66	3,38		8,89	4,01	2,72
	7,14	7,15	3,1		8,33	2,76	1,52
	8,3	8,01	4,06		7,41	3,14	2,93
	7,28	5,64	2,38		5,99	5,16	3,97
	3,38	3,99	2,46		8,22	3,88	4,6
	5,91	3,03	1,98		9,26	4,64	3,56
	5,97	3,83	2,02		7,44	4,81	4,01
	6,63	3,54	2,47		8,05	3,18	4,28
	6,07	3,47	2,61		9,67	4	6,63
	9,22	3,2	3,04		8,16	4,17	3,52
	4,7	4,07	3,48		7,1	5,59	3,46
	5,4	5,01	2,36		7,34	2,99	1,55
	5,45	6,14	2,12		4,86	3,43	1,72
	9,33	4,25	1,98		8,29	2,15	3,05
	7,44	4,3	1,86		7,88	2,64	2,16
	3,58	5,1	2,02		6,48	2,68	2,18
	4,1	5,29	2,03		7,59	3,11	2,36
	4,96	6,19	2,09		10,09	3,65	2,96
	3,93	3,59	3,14		8,26	2,95	3,74
	5,49	4,05	3,11		4,81	5,33	6,12
	4,59	3	2,79		7,12	5,73	6,87
	8,73	7,04	3,07		8,56	6,18	4,25
	5,87	5,85	3,17		7,91	6,02	2,26
	7,03	6,96	2,83		6,57	6,79	2,04
	4,39	2,99	3,16		8,74	4,85	3,19
	8,77	4,09	2,82		5,95	5,08	3,15
12,49	4,11	3,94	7,18	4,1	7,01		
4,27	5,17	4,5	5,8	3,71	6,88		
2,17	4,65	4,18	4,37	2,93	5,86		
5,67	5,15	3,72	5,48	4	5,43		

Tabela 8 - Tempo de Preparação das Máquinas (Retirar e Colocar Cones) – Continuação.

Tempo de Preparação da Máquina (Retirar e Meter Cones) – Continuação	Arranjar fios (seg)	Tirar Cones (seg)	Meter Cones (seg)
	5,93	4,51	2
	4,67	6	2,13
	3,68	3,2	3,24
	6,76	3,92	3,54
	6,51	4,33	2,2
	3,08	5,6	2,29
	8,25	5,68	2,11
	6,63	6,01	2,04
	8,4	7	3,16
	8,82	4,1	2,88
	5,33	4,19	3,01
	6,8	4,19	4,1
	6,35	5,12	1,45
	7,28	4,44	4,35
	5,34	5,41	1,99
	4,57	3,54	2,19
	5,64	3,89	1,21
	6,49	3,78	4,02
	6,19	7,81	1,63
	5,71	4,23	3,33
	4,78	4,52	3,02
	8,45	4,65	2,9
	3,23	5,6	3,41
6,21	2,76	3,31	
7,58	3	2,97	
6,79	3,99	3,7	
4,5	3,66	3,71	
9,24	2,98	3,28	
10,12	4,22	6,31	
13,95	4,27	2,28	
8,17	4,79	6,29	
6,75	5	1,9	
7,03	5,15	1,82	
9,64	3,03	2,82	
10,05	3,07	2,91	
8,66	4	2,3	

De seguida é representada a segunda tabela relativa à produção de malhas, neste caso, os tempos de afinação e inicialização da máquina são os a ter em conta, denotando-se a variação dependendo do número de cones.

Tabela 9 - Tempo de Preparação das Máquinas (Afinação e Inicialização).

	Tempo de Preparação da Máquina (Afinação e Inicialização)				Tempo de Preparação da Máquina (Afinação e Inicialização) – Continuação		
	Cones	Tempo (seg)	Cm/volta		Cones	Tempo (seg)	Cm/volta
	60	791	2,3		108	2459	4,1
	60	871	2,4		72	1812	2,1
	60	902	2,8		92	2190	5
	60	1006	2,8		60	1392	2,5
	60	1002	2,8		72	1708	2,4
	60	1293	2,5		92	1955	4,1
	60	1486	2,5		72	1678	2,5
	60	1403	2,2		60	1771	2,9
	60	3152	2,3		72	1920	3
	60	1357	2,2		92	1872	4,3
	60	1529	2,8		72	1526	3,2
	60	2198	2,2		72	1749	2,8
	60	871	2,3		72	1580	2,8
	60	881	2,4		72	1683	2,9
	60	1572	1,9		92	1933	4,9
	92	2579	4,2		72	1766	3,1
	60	1808	2,2		60	1388	2,1
	60	1561	2		92	1795	4,7
	72	2202	3,3		60	1385	3,1
	60	1667	2,1		60	1456	3,1
	60	1500	2,3		60	1400	2,1
	60	1497	1,8		60	1226	2
	60	2238	3		60	1342	2
	60	1281	2,2		60	1491	1,9
	72	1558	2,5		60	1481	2,3
	60	1490	2,3		60	1623	1,9
	92	1161	4,7		60	1406	2,3
	60	1677	1,7		60	2102	1,1
	60	1691	2,5		92	835	4,1
	60	1293	2,4		92	1655	4
	72	1607	3,4		92	2315	3,6
	108	2824	4,2		92	1622	3,5
	60	1454	3		92	1333	3,5
	72	1546	2,8		92	1521	3
	92	1526	4,8		92	1946	3
	60	1401	2,4		92	1464	3,6
	92	1630	3,5		60	1701	1,5
	92	1654	3,5		60	1599	1
	92	1802	4,3		60	1624	1,1
	60	2206	1,1		60	1481	1,2
	60	1917	1,6		60	1397	1,1
	60	2343	1,6		72	1576	3,2
	60	1537	1,8		48	1379	3,4
	60	1414	1,3		48	1438	3,3

Tabela 10 - Tempo de Preparação das Máquinas (Afinação e Inicialização) – Continuação.

Tempo de Preparação da Máquina (Afinação e Inicialização) – Continuação	Cones	Tempo (seg)	Cm/volta
	92	1630	3,5
	92	1654	3,5
	92	1802	4,3
	60	2206	1,1
	60	1917	1,6
	60	2343	1,6
	60	1537	1,8
	60	1414	1,3
	60	1701	1,5
	60	1599	1
	60	1624	1,1
	60	1481	1,2
	60	1397	1,1
	72	1576	3,2
	48	1379	3,4
	48	1438	3,3

A próxima tabela finaliza a recolha de tempos sobre a produção de malhas, incidindo nos tempos afetos à pré-revista de malha.

Tabela 11 - Tempo da Pré-Revista de Malhas.

Tempos Relativos à Máquina de Pré-Revista de Malha	Tempo (min)	Tempo – cont.	Tempo – cont.	Tempo – cont.
	8,21	10,48	7,35	5,01
	6,58	6,36	7,42	6,18
	6,34	5,01	5,23	5,42
	6,33	4,36	6,36	5,00
	5,28	5,48	6,28	5,57
	7,53	7,57	7,35	6,26
	7,55	6,30	6,28	5,08
	7,10	5,05	5,41	8,47
	10,08	3,48	6,28	5,16
	6,47	7,16	7,33	5,44
	7,3	6,23	5,19	6,00
	5,02	20,13	6,40	4,44
	4,49	7,04	6,21	10,07
	5,42	6,07	7,41	5,59
	6,01	5,46	5,02	
	6,58	5,08	5,01	
7,41	6,58	4,17		

Anexo C. Abertura de Malhas – Dados

Tabela 12 - Tempo Relativos à Abertura de Malhas.

	Tempo (min)	Tempo (min) – cont.
		3,50
	3,36	2,26
	3,48	2,56
	4,49	3,13
	4,52	3,39
	2,17	4,15
	3,27	3,30
	2,39	2,21
	2,56	2,50
	2,01	4,23
	2,06	3,23
	2,35	4,30
	4,23	3,21
	3,45	2,42
	3,47	2,44
	3,35	4,49
	3,40	7,23
	4,09	2,50
	4,08	1,54
	4,17	2,11
	4,05	3,00
	3,41	2,53
	4,11	2,38
	3,40	2,58
	4,35	2,19
	3,16	3,08
	3,19	3,18
	2,34	2,55
	2,06	3,18
	2,25	4,50

Anexo D. Hot-Melt – Dados

Tabela 13 - Tempo Relativos à Hot-Melt.

Tempos Relativos à Máquina Hot-Melt	Prep. Rolo (min)	Prep. de Vieseline (min)	Saída de Rolo (min)
	3,43	3,03	4,47
	4,14	5,49	4,50
	5,28	6,01	6,19
	5,44	5,55	3,40
	4,32	5,55	5,08
	5,43	4,23	6,32
	5,56	4,36	5,56
	5,15	4,35	5,34
	4,00	4,18	5,54
	4,22	4,01	5,42
	4,25	3,49	6,00
	3,31	4,01	5,32
	4,03	4,22	5,46
	3,21	4,22	5,42
	3,20	4,10	5,11
	4,29	4,31	4,55
	4,08	4,00	6
	3,38	3,43	5,27
	4,22	4,24	5,26
4,29	4,12	5,02	
4,08	4,48	5,48	
3,38	3,49	6,22	
4,22	4,02	4,46	
4,29	4,1	5,1	

Anexo E. Saída dos Rolos nas Máquinas Rameta e Rámula – Dados

Tabela 14 - Tempo Relativos à Rameta e à Rámula.

Tempos Relativos à Máquina Rameta/Rámula	Saída de Rolo (min)
	3,18
3,31	
3,12	
3,48	
3,15	
3,19	
3,52	
3,04	
3,21	
2,32	
3,36	
3,16	
3,19	
3,19	
3,08	
3,19	
3,17	
3,13	
3,19	
3,15	

Anexo F. Revista de Malha e Damascos – Dados

Tabela 15 - Tempo Relativos à Revista de Malhas e Damascos.

	Tempo Relativos à Máquina de Malha			Tempo Relativos à Máquina de Revista de Damasco	
	Tempo (min)	Tempo (min) - cont.		Tempo (min)	Tempo (min) - cont.
	4,29	3,03		6,52	5,27
	4,47	4,26		7,07	6,15
	8,12	3,33		6,38	6,12
	4,18	3,03		6,27	5,41
	2,43	2,38		4,59	5,02
	3,45	2,24		5,21	6,16
	6,43	3,33		6,17	6,37
	6,14	5,3		5,53	6,18
	3,51	5,1		8,03	2,49
	5,08	4,52		6,32	4,41
	3,4	3,37		4,02	4,35
	4,08	3,56		5,48	4,57
	4,26	3,44		5,24	4,59
	5,33	5,45		6,51	4,54
	5,38	6,41		5,05	7,36
	2,5	8,11		5,58	6,09
	3,46	3,54		4,06	7,49
	5,43	7,03		5,13	6,55
	5,01	10,12		5,53	6,32
	4,51	7,12		5,23	6,35
	4,51	5,01		5,45	6,39
	6,08	7,22		6,18	6,46
	4,39	8,24		5,53	
	4,34	8			
	5,34	7,47			
	5	3,51			
	4,1	5,23			
	4,4	3,52			
	5,48	4,36			
	4,18				

Anexo G. Armazém de Produto Acabado – Paletização – Dados

Tabela 16 - Tempo Relativos à Paletização.

Tempos Relativos à Paletização	Tempo (min)	Tempo (min) - cont.
	19,56	16,57
	18,34	12,25
	15,11	15,29
	17,03	13,27
	19,24	16,08
	14,41	12,17
	17,59	13,49
	16,07	15,09
	17,22	14,3
	15,51	12,51
	13,54	13,35
	14,59	12,03
	18,26	14,01
	15,28	15,03
	17,2	15,18

Anexo H. Processo de Preparação da Tear de Damascos

A preparação de um tear para a produção de damascos é composta por quatro etapas: urdissagem, encolagem, montagem no tear e tecelagem (Trocicolar).

- **Urdissagem**

Urdir uma teia consiste em construir um sistema de fios paralelos, individuais, com o mesmo comprimento e com a mesma tensão. Depois disso, os fios são enrolados num eixo (órgão do tear).

- **Encolagem**

A encolagem consiste no revestimento dos fios numa substância adesiva, que tem a finalidade de aumentar a resistência dos fios às ações sofridas durante a tecelagem, reduzindo quebras nos fios e consequentes paragens do tear.

- **Montagem do Tear**

A montagem do tear consiste na montagem do órgão na traseira do tear e na passagem de cada fio no orifício correspondente.

- **Tecelagem**

A tecelagem consiste na produção do produto em causa.

Anexo I. Artigo presente no ENEGI2018

Sistema de Apoio à Decisão para Melhoria dos Fluxos de Materiais de uma Empresa Industrial - ENEGI 2018

Vitor Silva¹, Luís Pinto Ferreira¹, Teresa Pereira¹, Paulo Ávila¹

¹ Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, Portugal

(1130630@isep.ipp.pt; lpf@isep.ipp.pt; mtp@isep.ipp.pt; psa@isep.ipp.pt)

1 Introdução

No contexto da evolução industrial presenciada nas últimas décadas e que se prevê continuar para as próximas, a simulação constitui uma ferramenta obrigatória no seio de uma empresa, como forma a torná-la mais competitiva num mundo onde a excelência prevalece. Nesse sentido, a simulação é uma ferramenta de apoio à decisão muito útil para validar ou refutar possíveis melhorias de processos dentro de uma corporação (Benedettini & Tjahjono, Towards an improved tool to facilitate simulation modeling, 2008). De facto, a simulação permite modelar e analisar o desempenho de sistemas e processos complexos (Ferreira *et al.*, 2011).

O trabalho aqui apresentado tem como objetivos a análise e melhoria dos processos de abastecimento de diferentes secções da empresa Duvalli Mattress Ticking, que tem como área de aplicação a produção de malhas e damascos para estofamento. Para isso, foi desenvolvida uma ferramenta de apoio à decisão baseada em modelos de simulação, utilizando o software de simulação ARENA, que permita ao utilizador testar e analisar o impacto que diferentes estratégias de abastecimento irão ter no desempenho da empresa.

2 Sistema de Apoio à Decisão Desenvolvido

O sistema desenvolvido com recurso ao *software* ARENA é composto por duas etapas que se complementam, o modelo base de simulação e a interface gráfica com o utilizador (ver Figura 1).

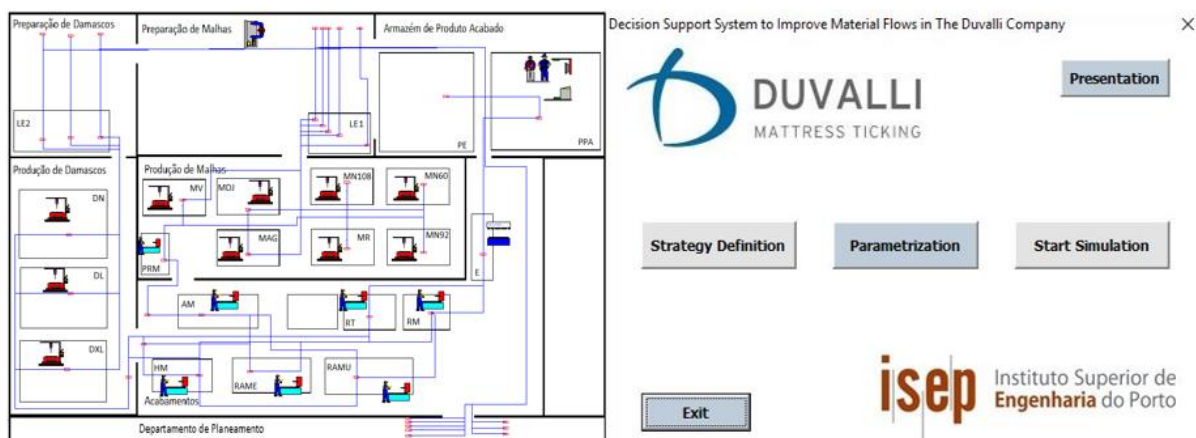


Figura 1. Sistema de apoio à decisão desenvolvido

A primeira descreve a representação dos fluxos materiais da empresa num modelo de simulação que deve desempenhar as mesmas funções que o sistema real, sendo organizado em cinco áreas: armazém de matéria prima, produção de malhas, produção de damascos, acabamentos e armazém do produto acabado.

A segunda etapa representa o desenvolvimento do sistema de apoio à decisão que permite ao utilizador, a partir de certos parâmetros de entrada e por meio de certas estratégias de controlo, avaliar o seu impacto no sistema real. A Figura 2 estabelece a relação entre a interface gráfica e o modelo desenvolvidos.

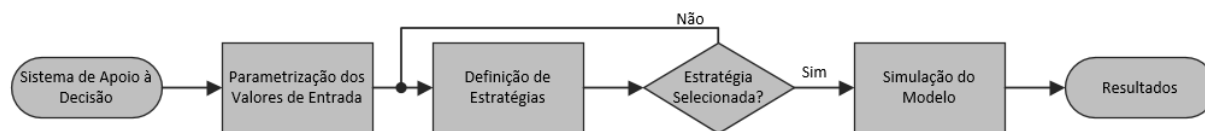


Figura 2. Fluxo de Informação Referente à Escolha da Estratégia de Controlo

Quanto ao nível das estratégias, estas são cinco e podem ser definidas da seguinte forma:

- 1) Prioridade por Tipo de Artigo à Saída da Produção de Malhas e Damascos
- 2) Prioridade por Tamanho dos Artigos em Stock à Saída da Produção de Malhas e Damascos
- 3) Melhoria dos Fluxos Materiais em Pontos Críticos (Rotas e Processos)
- 4) *Crossover* entre Estratégia 1 e 3
- 5) *Crossover* entre Estratégia 2 e 3

O modelo desenvolvido foi validado (Tabela 1), tendo por base um erro percentual de 1% (malhas) e 5% (damascos).

Tabela 1. Validação do Modelo de Simulação

Tipo de Produto	Tempo de Produção (dias)	Quantidade Produzida (und)	
		Sistema Real	Modelo de Simulação
Malhas	7	850	855
Damascos	7	180	189

3 Resultados

A Figura 3 reflete os resultados obtidos para cada uma das estratégias desenvolvidas comparativamente com o sistema real, num espaço de tempo de uma semana (7 dias), com os mesmos parâmetros de entrada.



Figura 3. Fluxo de Informação Referente à Escolha da Estratégia de Controlo

A partir dos resultados obtidos, constata-se que todas as estratégias apresentam melhorias em relação à produção de rolos de malhas e damascos, destacando-se a Estratégia 4 como a melhor, tendo aumentos de aproximadamente 7% e 43%, respetivamente. Para além disso, foi possível verificar que o tempo de espera para o operador à entrada da área de acabamentos é reduzido em sensivelmente 75%.

4 Conclusões

De um ponto de vista científico, este trabalho consegue provar a utilidade da simulação como ferramenta de apoio à decisão, através do desenvolvimento de cinco estratégias de controlo que, aliadas ao modelo representativo do sistema em estudo, permitem dar ao utilizador a possibilidade de testar e avaliar diferentes políticas de abastecimento das diferentes secções da empresa, reduzindo o tempo, o custo e os recursos necessários perante uma abordagem diferente.

Referências

- Benedettini, O., & Tjahjono, B. (2008). Towards an improved tool to facilitate simulation modeling. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, pp. 191-199.
- Ferreira, L. P., Ares Gómez, E., Lourido, G. C., Diéguez Quintas, J., Tjahjono, B., & Quintas, J. D. (2011). Analysis and optimisation of a network of closed-loop. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, pp. 351-366.