



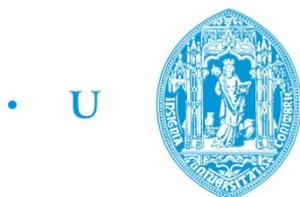
UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Ana Sofia Santos Pimentel

**ANÁLISE E MELHORIA DO PROCESSO DE EXPEDIÇÃO
NA INDÚSTRIA DA PASTA DE PAPEL**

**Dissertação no âmbito do Mestrado em Engenharia e gestão Industrial
orientada pelo Professor Doutor Telmo Miguel Pires Pinto, coorientada pelo
Doutor Miguel Jorge Vieira e apresentada ao Departamento de Engenharia
Mecânica.**

fevereiro de 2021



• U • C •

FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Análise e Melhoria do Processo de Expedição na Indústria da Pasta de Papel

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia e
Gestão Industrial

Analysis and Improvement of the Shipping process in the Pulp Paper Industry

Autor

Ana Sofia Santos Pimentel

Orientador

Professor Doutor Telmo Miguel Pires Pinto

Coorientador

Doutor Miguel Jorge Vieira

Júri

| | |
|--------------|---|
| Presidente | Professor Doutor Luís Miguel Domingues Fernandes Ferreira Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra |
| Vogal | Professor Doutor Cristóvão Silva Professor Auxiliar com Agregação da Universidade de Coimbra |
| Orientador | Professor Doutor Telmo Miguel Pires Pinto Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra |
| Coorientador | Doutor Miguel Jorge Vieira Investigador Doutoramento da Universidade de Coimbra |

Colaboração Institucional



Coimbra, fevereiro, 2021

“Nada pode ser amado ou odiado antes de ser compreendido”

Leonardo da Vinci (1452-1519)

Aos meus avós.

Agradecimentos

A escrita da dissertação trata-se de um processo ímpar na vida de qualquer estudante. Para além do desafio que este processo por si constitui, no início de 2020, o mundo foi obrigado a parar por breves instantes, para que este se adaptasse a uma nova realidade. Este novo contexto tornou o desafio inicial um pouco mais complexo para a maioria de nós. Por esse motivo, a concretização desta etapa tão importante não teria sido possível sem o otimismo e ajuda proporcionados por algumas pessoas ao longo destes longos meses de trabalho, às quais gostaria de prestar os meus sinceros agradecimentos.

Em primeiro lugar, ao professor Doutor Telmo Pinto, pela oportunidade que me foi dada de desenvolver a tese sob a sua orientação. Em segundo lugar, ao Doutor Miguel Vieira, que se revelou como uma ajuda imprescindível à realização deste trabalho.

Agradeço também à Celbi, especialmente à sua equipa logística, que tão bem me acolheu, integrando-me desde o primeiro dia.

Gostaria ainda de expressar o meu especial agradecimento ao Dr. Paulo Paulino e ao Dr. Hermano Sousa pela oportunidade de desenvolver este projeto, pelo apoio e interesse demonstrados, o que se tornou fundamental para a sua conclusão.

Aos meus amigos e colegas, pela motivação necessária para terminar esta etapa determinante do meu percurso académico.

Por fim, um agradecimento muito querido à minha irmã Inês e ao Luís, pelo convívio e momentos de partilha entre as horas de trabalho.

Resumo

Atualmente, assistimos a um aumento generalizado da competitividade entre os mercados, o que leva as empresas a quererem melhorar os seus processos e operações. A gestão da cadeia de abastecimento possui uma correlação com o sucesso empresarial, sendo necessário que se garanta a sua eficiência, de forma consolidar o sucesso da organização a longo prazo. Particularmente, o processo de expedição representa um ponto crítico da cadeia de abastecimento, uma vez que este constitui o elo de ligação entre os elementos que a representam. A importância da gestão da cadeia de abastecimento e do processo de expedição fazem com que estas sejam áreas nas quais as empresas devem investir os seus recursos, nomeadamente na monitorização e melhoria contínua dos seus processos.

O aumento da capacidade produtiva da Celbi, como consequência do investimento em melhorias no processo produtivo ao longo dos últimos anos, fez com houvesse um aumento no volume de expedição. Por esse motivo, a empresa enfrenta alguns desafios a nível logístico. Um dos desafios enfrentados pela Celbi consiste na gestão das chegadas dos camiões ao armazém de expedição que, face ao aumento do volume de expedição, se tornou num processo crítico com tendência a formar filas de espera. É nesse contexto que surge a necessidade de analisar e melhorar este processo.

A metodologia adotada no caso de estudo consiste na modelação baseada em simulação de eventos discretos. Após uma recolha e análise de dados relativos ao processo de expedição, é desenvolvido um modelo de simulação que permite testar e analisar vários cenários. Através desta ferramenta e da análise de cenários, são propostas várias medidas que procuram melhorar a performance do sistema.

Palavras-chave: Logística, Gestão da Cadeia de Abastecimento, Expedição, Filas de Espera, Simulação de Eventos Discretos.

Abstract

Today, we are witnessing a widespread increase in response between markets, which makes companies want to improve their processes and operations. Supply chain management is closely linked to business success and it is necessary to guarantee its efficiency to maintain the organization's long-term success. In particular, the shipping process represents a critical process in the supply chain, since it constitutes the link between the elements that represent it. The importance of supply chain management and the shipping process make these areas critical to success and, therefore, companies should invest their resources in monitoring and continuous improvement in these areas.

The increase of the production capacity at Celbi, as a result of the investment in improvements in the production process over the last few years, lead to an increase in the volume of dispatch. For this reason, the company faces some logistical challenges. One of the challenges faced by Celbi is the management of trucks' arrivals which, as a consequence of the increase in the volume of dispatch, has become a critical process with a tendency to form queues. It is in this context that the need to analyze and improve this process arises.

The methodology adopted in the case study consists of modeling based on discrete event simulation. After an analysis of data related to the shipping process, a model is developed that allows testing and analyzing various scenarios. Through this tool and scenario analysis, several measures are proposed that seek to improve the current performance of the shipping process.

Keywords: Logistics, Supply Chain Management, Shipping Process, Queueing Theory, Discrete Event Simulation.

Índice

| | |
|--|-----|
| Índice de Figuras | xii |
| Índice de Tabelas | xiv |
| Simbologia e Siglas | xvi |
| Simbologia | xvi |
| Siglas | xvi |
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1. Contextualização do problema | 1 |
| 1.2. Plano de investigação | 2 |
| 1.3. Estrutura da dissertação | 3 |
| 2. CASO DE ESTUDO | 5 |
| 2.1. A Altri | 5 |
| 2.1.1. Os produtos da Altri | 6 |
| 2.2. A Celbi | 8 |
| 2.2.1. Processo produtivo | 10 |
| 2.2.2. Processo de expedição | 11 |
| 2.3. Objetivos | 16 |
| 2.4. Conclusões | 18 |
| 3. REVISÃO DA LITERATURA | 19 |
| 3.1. O papel dos armazéns na cadeia de abastecimento | 21 |
| 3.1.1. O processo de expedição e transporte | 23 |
| 3.2. Teoria de filas de espera e simulação | 26 |
| 3.3. Conclusões | 32 |
| 4. MODELAÇÃO BASEADA EM SIMULAÇÃO | 35 |
| 4.1. Metodologia | 35 |
| 4.2. Definição do problema e objetivos do modelo | 36 |
| 4.3. Recolha e análise de dados | 37 |
| 4.3.1. Análise preliminar dos dados obtidos | 37 |
| 4.3.2. Conclusões da análise dos dados | 44 |
| 4.4. Conceptualização e construção do modelo de simulação | 45 |
| 4.4.1. Validação do modelo | 53 |
| 4.5. Conclusões | 56 |
| 5. ANÁLISE DE CENÁRIOS | 59 |
| 5.1. Cenário A – Implementação de janelas horárias | 59 |
| 5.2. Cenário B – Introdução de um servidor | 61 |
| 5.3. Cenário C – Introdução de janelas horárias num período específico | 63 |
| 5.4. Comparação entre os cenários | 65 |
| 5.5. Conclusões | 67 |
| 6. CONCLUSÃO | 68 |

| | |
|----------------------------------|----|
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 71 |
| ANEXO I..... | 76 |
| ANEXO II | 78 |
| ANEXO III | 80 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1.1. Principais etapas do processo de investigação | 3 |
| Figura 2.1. Estrutura orgânica funcional da Altri [Adaptado (Altri, 2019b)] | 5 |
| Figura 2.2. Os vários destinos dos produtos da Altri [Adaptado (Altri, 2019a)] | 6 |
| Figura 2.3. Vendas de pasta por região e por aplicação final [Adaptado (Altri, 2019b)] | 6 |
| Figura 2.4. Unidades fabris do grupo Altri e respetivos tipos de pasta produzidos. | 8 |
| Figura 2.5. Evolução da produção de pasta branqueada de eucalipto (Celbi, 2018b)..... | 9 |
| Figura 2.6. Processo produtivo da Celbi [Adaptado (Celbi, 2018a)] | 11 |
| Figura 2.7. Esquema representativo dos armazéns de expedição da Celbi. | 12 |
| Figura 2.8. Empilhador a realizar a arrumação da pasta no armazém de expedição..... | 13 |
| Figura 2.9. Fluxo de informação decorrido desde a encomenda até à expedição da pasta. | 14 |
| Figura 2.10. Representação simplificada da cadeia de abastecimento da Celbi | 16 |
| Figura 3.1. Contribuição e valor do transporte na CA [Adaptado (Stank & Goldsby, 2000)] | 24 |
| Figura 3.2. Exemplo do gráfico de $A(t)$ num processo estacionário de <i>Poisson</i> (Hall, 2013). | 33 |
| Figura 4.1. Tipologia de carregamentos observados nos dados e respetiva percentagem de observação..... | 39 |
| Figura 4.2. Média diária total de chegadas de camiões entre os meses de janeiro e junho de 2019..... | 39 |
| Figura 4.3. Média de chegadas de camiões TIR por período..... | 41 |
| Figura 4.4. Média de chegadas de camiões para navio por período..... | 41 |
| Figura 4.5. Média de chegadas de camiões (total) por período..... | 42 |
| Figura 4.6. Média de carregamentos diários por dia da semana. | 43 |
| Figura 4.7. Histograma dos tempos de permanência observados nas instalações..... | 43 |
| Figura 4.8. Distribuição do tempo médio de permanência ao longo do dia..... | 44 |
| Figura 4.9. Esquema conceptual do sistema de filas de espera do armazém de expedição da Celbi. | 46 |
| Figura 4.10. Chegadas cumulativas dos camiões TIR e para navio que chegam ao armazém fabril. | 48 |
| Figura 4.11. Histograma dos tempos entre chegadas em minutos dos carregamentos. | 49 |
| Figura 4.12. “Rate tables” de cada um dos carregamentos na modelação das chegadas. | 50 |
| Figura 4.13. Curva $A(t)$ obtida através de simulação (à esquerda) e através da amostra (à direita). | 56 |

Figura 5.1. Configuração da nova “rate table” 64

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 2.1. Termos utilizados nos produtos da empresa e respectivas características | 10 |
| Tabela 2.2. Portos comerciais com armazéns próprios da Celbi..... | 14 |
| Tabela 2.3. Características das diferentes rotas existentes na Celbi | 16 |
| Tabela 3.1. Descrição das operações desempenhadas nos armazéns e principais decisões [Adaptado (Gu et al., 2007)] | 22 |
| Tabela 4.1. Variáveis relevantes ao estudo do problema e respetiva descrição e formato. 38 | |
| Tabela 4.2. Parâmetros estatísticos das amostras recolhidas..... | 40 |
| Tabela 4.3. Elementos de construção do SIMIO..... | 46 |
| Tabela 4.4. Taxa de chegadas por período horário..... | 50 |
| Tabela 4.5. Tempos de serviço observados em minutos. | 51 |
| Tabela 4.6. Tempos de serviço observados em minutos. | 52 |
| Tabela 4.7. Os diferentes objetos utilizados na simulação e respetivas propriedades. | 53 |
| Tabela 4.8. Parâmetros determinados a partir da amostra dos tempos no sistema do camiões TIR. | 54 |
| Tabela 4.9. Resultados obtidos para a variável tempo no sistema dos camiões TIR (h). ... | 54 |
| Tabela 4.10. Resultados obtidos para a variável tempo no sistema dos camiões TIR (h). . | 55 |
| Tabela 5.1. Comparação dos indicadores de performance da situação atual com o cenário A e respetiva variação. | 60 |
| Tabela 5.2. Comparação dos indicadores de performance da situação atual com o cenário B e respetiva variação. | 62 |
| Tabela 5.3. Comparação dos indicadores de performance da situação atual com o cenário B e respetiva variação. | 64 |
| Tabela 5.4. Comparação dos indicadores de performance da situação atual com o cenário B e respetiva variação. | 66 |

SIMBOLOGIA E SIGLAS

Simbologia

L_q – Comprimento médio da fila de espera

L – Número médio de clientes no sistema

W_q – Tempo médio de espera no sistema

λ – Parâmetro da distribuição exponencial e *Poisson*

$\lambda(t)$ – Taxa de chegadas em t

$A(t)$ – Chegadas cumulativas ao sistema em t

dt – Diferencial em relação a t

Siglas

BEKP – Bleached Eucalyptus Kraft Pulp

CA – Cadeia de Abastecimento

CSCMP - Council of Supply Chain Management Professionals

DES – Discrete Event Simulation

DWP – Dissolving Wood Pulp

EFC – Elemental Chlorine Free

FCFS – First Come First Served

FIFO – First In First Out

FSC – Forest Steward Council

GCA – Gestão da Cadeia de Abastecimento

PCA – Porto Comercial de Aveiro

PCFF – Porto Comercial da Figueira da Foz

PECF – Programme for the Endorsement of Forest Certification

RFID – Radiofrequency Identification

TCF – Totally Chlorine Free

WMS – Warehouse Management System

1. INTRODUÇÃO

O presente documento foi desenvolvido no âmbito da dissertação de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial pela Universidade de Coimbra em colaboração com a Celulose Beira Industrial Celbi, S.A., produtora de energia e pasta de papel.

1.1. Contextualização do problema

A produção da pasta de papel é um processo que conta com vários anos de história. Em Portugal, o fabrico de pasta de papel era realizado de forma artesanal até ao início do séc. XVIII, altura em que foi introduzida a primeira unidade de produção industrial (Gaspar, 2014). Portugal foi pioneiro na utilização de madeira de eucalipto na produção de pastas químicas, no ano de 1925 (Alves et al., 2007).

A pasta de papel possui diversas aplicações finais tais como jornais, papel de impressão e escrita, papel higiénico, cartão e fibras têxteis. Em Portugal, no ano de 2018, foram produzidas 2,67 milhões de toneladas de pasta de papel. Este desempenho permitiu classificar Portugal como o 3º maior produtor europeu de pasta, o que evidencia a importância deste setor na economia portuguesa (Celpa - Associação da Indústria Papeleira, 2018).

A indústria da pasta de papel depende de uma longa e integrada cadeia de abastecimento que engloba diversas atividades, desde a gestão e manutenção da floresta, produção da pasta, até à sua posterior transformação e distribuição ao cliente final. Nos últimos anos, o setor da pasta e do papel tem sofrido alterações à escala global motivadas sobretudo pelo rápido crescimento dos mercados asiático e latino-americano. Por um lado, o crescimento da indústria na Ásia conduziu a um aumento das exportações de pasta e madeira na América Latina, inflacionando a procura de produtos florestais. Por outro lado, verifica-se que mercados mais maduros, como o europeu e o norte-americano, enfrentam um clima de maior competitividade devido ao crescimento dos novos mercados (Carlsson et al., 2009). Além das alterações estruturais, o setor da pasta e papel é considerado um dos mais sensíveis às políticas ambientais, em consequência do elevado consumo de água e energia utilizados na produção da pasta e papel (Korhonen et al., 2015), sendo as empresas europeias

umas das mais afetadas por estas políticas. Face a estas dificuldades, as produtoras de pasta de papel europeias devem munir-se de métodos que lhes permitam manter a sua solidez no mercado. Devem optar ainda por definir estratégias com foco no aumento da eficiência dos seus processos e no aumento da sua performance ambiental, procurando simultaneamente diminuir os seus custos globais e alcançar a satisfação do cliente.

A logística e cadeia de abastecimento constituem áreas críticas que influenciam o sucesso de qualquer organização. A eficiência dos processos logísticos possui uma estreita relação com a performance organizacional. Segundo os autores Lynch et al. (2000) e Novack et al. (1994) existe uma correlação positiva entre estas duas dimensões. Com base nessa correlação, salienta-se a importância da aposta na inovação e melhoria contínua na área da logística e cadeia de abastecimento das organizações, que por vezes é subestimada (Garver et al., 2010).

É nesse contexto que surge a presente dissertação, tendo a mesma como principal objetivo melhorar a performance de um dos processos logísticos da empresa em estudo – o processo de expedição – o que contribuirá para a continuidade do sucesso da Celbi enquanto *player* internacional na produção de pasta de papel.

1.2. Plano de investigação

A presente dissertação foi elaborada de acordo com um plano de investigação que se encontra dividido em cinco etapas principais, identificadas na figura 1.1.

Na primeira etapa será apresentado em detalhe o caso de estudo. Os processos produtivo e de expedição da Celbi serão caracterizados, de forma a contextualizar o leitor.

Após a caracterização do problema, definição dos principais processos envolvidos e objetivos do estudo, será conduzida uma revisão da literatura que consiste na segunda etapa do trabalho. No âmbito da revisão, é avaliada a importância da logística/gestão da cadeia de abastecimento, o papel dos armazéns, os processos de expedição e transporte e, por último, a teoria de filas de espera e simulação. Esta revisão servirá como base para sustentar a metodologia adotada na construção da dissertação.

Na terceira etapa, será desenvolvida a metodologia, com base nas conclusões obtidas a partir da revisão da literatura. A metodologia adotada será aplicada ao problema em estudo, de modo a atingir os objetivos propostos com a realização da dissertação.

Na quarta etapa, será realizada uma recolha de dados consistente com a metodologia adotada. Esses dados serão tratados posteriormente, de modo a que possam ser analisados na etapa seguinte.

Na quinta e última etapa, proceder-se-á à análise e discussão dos resultados obtidos, através da metodologia escolhida. Por fim, são elaboradas as conclusões com base nos resultados obtidos.

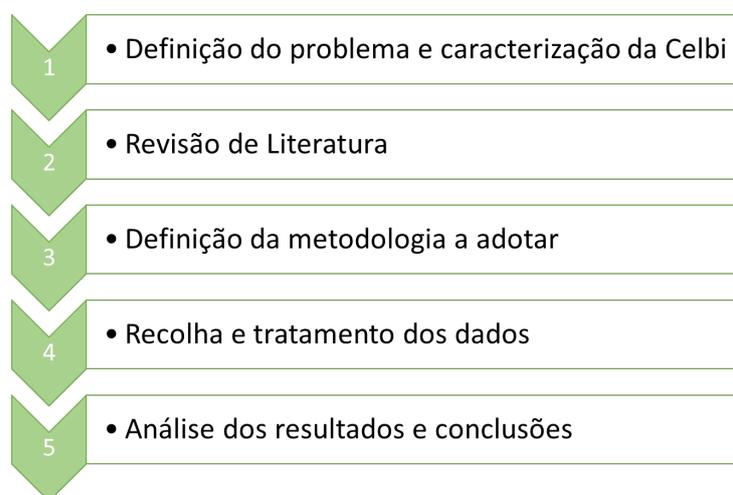


Figura 1.1. Principais etapas do processo de investigação

1.3. Estrutura da dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em 7 capítulos, os quais seguem a seguinte estrutura:

Capítulo 1 – Apresenta-se a contextualização do problema, bem como a motivação que levou ao desenvolvimento do estudo e a sua importância para a empresa. É ainda descrita a metodologia de investigação adotada ao longo do desenvolvimento do documento.

Capítulo 2 – Procede-se a uma breve apresentação do grupo Altri, ao qual a Celbi pertence. Caracterizam-se as principais atividades e processos da Celbi, com especial foco no processo de expedição. Neste contexto, descreve-se o caso de estudo e, em particular, os objetivos a alcançar com a presente dissertação.

Capítulo 3 – Realiza-se uma revisão da literatura incidindo sobre os principais conceitos abordados pela dissertação que incluem a logística, gestão da cadeia de abastecimento, armazéns, expedição e transporte e, por último, a teoria de filas de espera e simulação. Nestes últimos, são apresentadas-se vários casos de estudo na indústria da pasta e do papel.

Capítulo 4 – Apresenta-se a metodologia adotada na elaboração do estudo de simulação, descrevendo-se as várias etapas. Com base na metodologia, elaboram-se e validam-se o modelo de simulação usado na presente dissertação.

Capítulo 5 – Implementam-se várias configurações ao modelo de simulação, representados por três cenários que são estudados, analisados e discutidos.

Capítulo 6 – Neste último capítulo, sintetizam-se as principais conclusões da dissertação e apresenta-se a sugestão de um tema de trabalho futuro.

2. CASO DE ESTUDO

Ao longo deste capítulo será descrito o caso de estudo abordado na dissertação. O capítulo inicia-se com uma breve caracterização da Altri e das suas atividades, seguindo-se a caracterização da Celbi, do seu processo produtivo e de expedição. Por último, são apresentados os objetivos do caso de estudo e a conclusão do presente capítulo

2.1. A Altri

A Altri, SGPS, S.A., doravante denominada Altri, foi constituída em 2005, com o objetivo de gerir participações sociais como forma indireta do exercício de atividades económicas, tais como a produção de pastas celulósicas e a exploração silvícola. Atualmente, a Altri é uma empresa de referência europeia na produção de pastas de eucalipto e na gestão florestal sustentável. Paralelamente, dedica-se à produção de energia elétrica a partir de biomassa (Altri, 2019a).

A Altri detém três unidades industriais de produção de pasta de papel em Portugal: a Celbi (Figueira da Foz), a Caima (Constância) e a Celtejo (Vila Velha de Ródão). Sendo também detentora da Bioelétrica da Foz, produtora de energia renovável.

No ano de 2019, a Altri produziu cerca de 1,1 milhões de toneladas de pasta de papel e solúvel, possuindo à data 83,5 mil hectares de área florestal sob gestão certificada pelo Forest Steward Council ® (FSC®) e pelo Programme for the Endorsement of Forest Certification (PEFC), contribuindo assim para o desenvolvimento florestal e para a melhoria do meio ambiente (Altri, 2019b).

A atual estrutura orgânica funcional do grupo Altri encontra-se representada na figura 2.1.



Figura 2.1. Estrutura orgânica funcional da Altri [Adaptado (Altri, 2019b)]

2.1.1. Os produtos da Altri

As atividades centrais do grupo Altri consistem na produção de pasta de papel, produção de energia elétrica a partir de biomassa e gestão florestal. No entanto, a principal e mais relevante atividade que a Altri desempenha continua a ser aquela que a caracteriza: a produção de pasta de papel (Altri, 2019b).

A Altri exporta cerca de 88% da sua produção, cuja maioria dos seus clientes são europeus (68% - excluindo Portugal). A pasta vendida possui diversas aplicações, sendo a maioria com destino à produção de papéis *tissue* (52%). A figura 2.2 representa os vários destinos da pasta produzida pela Altri. Na figura 2.3 é possível consultar uma representação da percentagem de vendas de pasta por região e por aplicação final.



Figura 2.2. Os vários destinos dos produtos da Altri [Adaptado (Altri, 2019a)]

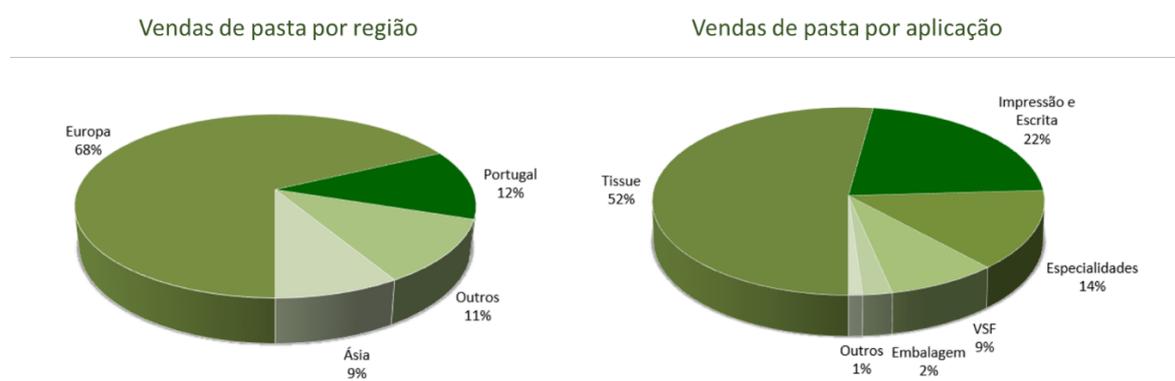


Figura 2.3. Vendas de pasta por região e por aplicação final [Adaptado (Altri, 2019b)]

2.1.1.1. A pasta de papel

A pasta de papel é constituída maioritariamente por fibras provenientes da madeira. Uma das etapas na produção de pasta de papel consiste na separação das fibras de celulose dos restantes constituintes da madeira. Este procedimento pode ser realizado principalmente por meio de dois processos: mecânicos ou químicos. Através do processo mecânico, as fibras de celulose são desagregadas através da moagem mecânica da madeira. As fibras que resultam deste processo caracterizam-se pela sua rigidez e baixa flexibilidade. Por sua vez, através do processo químico, as fibras de celulose são desagregadas da lenhina – substância que se encontra junto às fibras – e dos restantes constituintes da madeira, através da dissolução das moléculas de lenhina pela ação de produtos químicos. As fibras que resultam deste processo apresentam maior flexibilidade comparativamente às obtidas mecanicamente.

Existem vários tipos de processamento químico da madeira que diferem consoante os agentes químicos utilizados. O processo de produção de pasta químico mais utilizado a nível mundial consiste no processo ao sulfato, também denominado Kraft. Neste processo, os químicos utilizados para o processamento da madeira são o hidróxido de sódio (NaOH) e o sulfureto de sódio (Na₂S) (Ek et al., 2009).

É este o tipo de processo adotado pela Celbi e pela Celtejo na produção de pasta branqueada de eucalipto (BEKP – *Bleached Eucalyptus Kraft Pulp*). Por outro lado, a Caima produz pasta solúvel de eucalipto através de outro método, o processo ao sulfito (pasta DWP – *Dissolving Wood Pulp*). Adicionalmente, a utilização ou não de cloro elementar ou compostos clorados na etapa de branqueamento diferencia os produtos produzidos em cada uma das unidades indústrias.

Em síntese, os três grandes tipos de pasta produzidos pela Altri são:

Pasta BEKP EFC: Pasta papeleira de eucalipto produzida pelo processo ao sulfato, branqueada sem a utilização de cloro elementar (EFC – *elemental chlorine free*). As características deste tipo de pasta recomendam a sua utilização na produção de papéis finos, de impressão e escrita, papeis para laminados decorativos e papeis destinados a servirem de suporte à impressão de elevada qualidade.

Pasta BEKP TCF: Pasta papeleira de eucalipto produzida pelo processo ao sulfato e branqueada sem a utilização de compostos clorados (TCF – *totally chlorine free*). Este tipo

de pasta é particularmente adequado à produção de papéis *tissue* (lenços, papel higiénico, etc. ...).

Pasta DWP TCF: Pasta solúvel de eucalipto produzida pelo processo ao sulfito e branqueada sem a utilização de compostos clorados (TCF). Este tipo de pasta possui aplicações na indústria têxtil.

O esquema representado na figura 2.4 sintetiza a informação anterior, fazendo referência ao tipo de pasta produzido em cada unidade industrial do grupo Altri.



Figura 2.4. Unidades fabris do grupo Altri e respetivos tipos de pasta produzidos.

2.2. A Celbi

A Celbi (Celulose Beira Industrial S.A.), foi instalada em Portugal no ano de 1965, surgindo inicialmente como uma iniciativa da Billerud AB, empresa sueca. A unidade fabril, localizada a cerca de 15 km da Figueira da Foz, iniciou a sua produção em 1967, produzindo pasta solúvel destinada ao fabrico de fibras têxteis. A capacidade inicial de produção situava-se nas 80 000 toneladas anuais. Mais tarde, a empresa foi adquirida pelo grupo Altri, em 2006.

Atualmente, a Celbi tem como principal atividade a produção e comercialização de pasta de papel de fibra curta produzida a partir de eucalipto. Possui uma capacidade anual de produção superior a 700 mil toneladas de pasta. Através do sistema de cogeração de energia, comercializa energia elétrica. É reconhecida no mercado pela elevada qualidade do

seu produto, aliada a um excelente serviço ao cliente. Desde o ano em que iniciou as suas operações, a Celbi tem vindo a implementar melhorias nos seus processos, aumentando simultaneamente a sua capacidade produtiva (Celbi, 2018b).

A figura 2.5 ilustra a evolução da produção entre 2014 e 2018. É possível verificar que a produção de pasta de eucalipto aumentou 14,8% em apenas 5 anos, o que traduz o efeito das melhorias implementadas no sistema produtivo, bem como do elevado investimento realizado na unidade industrial.

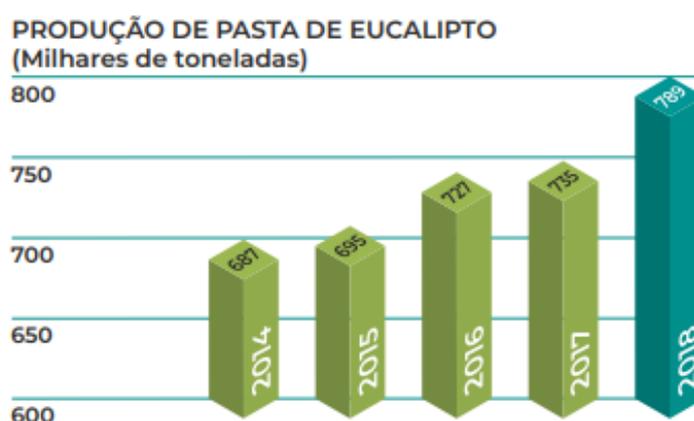


Figura 2.5. Evolução da produção de pasta branqueada de eucalipto (Celbi, 2018b).

Apesar de produzir pasta branqueada de eucalipto BEKP, como mencionado anteriormente, nem toda a pasta fabricada na Celbi é igual. De acordo com as suas propriedades tais como a brancura, qualidade, percentagem de impurezas, entre outras, a pasta é classificada em diferentes categorias (*grades*). A classificação da pasta é uma tarefa desempenhada pelo laboratório da empresa, que considera medições em diferentes parâmetros para fazer respetiva classificação. O laboratório define ainda a percentagem de água contida na pasta que irá determinar o valor dos parâmetros “*gross weight*” (peso bruto) e “*net weight*” (peso líquido). Conforme a aplicação final pretendida para a pasta (ex.: papel higiénico, cartão), o laboratório fornece a indicação à direção logística dos tipos de pasta que podem ir para cada cliente. Além da classificação em *grades*, a pasta classifica-se ainda de acordo com o tipo de embalagem que pode ser “com capas” ou “sem capas”.

A tabela 2.1 resume os principais termos usados ao longo da dissertação e as respetivas características.

Tabela 2.1. Termos utilizados nos produtos da empresa e respetivas características

| Termos | Características |
|-----------------------|--|
| <i>Unit</i> ou Fardão | Corresponde à unidade de produção Peso: 2 t 1 <i>unit</i> = 8 fardos |
| Fardo | Unidade pequena que constitui a <i>unit</i> |
| <i>Grade</i> | Qualidade da pasta |
| Tipo embalagem (U/W) | U – Unwrapped – Pasta sem capas W – Wrapped – Pasta com capas |
| <i>Net weight</i> | Peso líquido da pasta que é faturado ao cliente |
| <i>Gross weight</i> | Peso bruto da pasta que consta nas guias de transporte |

2.2.1. Processo produtivo

O processo produtivo da Celbi começa ainda na floresta. A partir da matéria prima, o eucalipto (*eucalyptus globulus*), a Celbi produz pasta de papel de elevada qualidade.

O processo produtivo da Celbi é constituído maioritariamente por seis etapas: descasque e destroçamento, cozimento da madeira, lavagem da pasta, branqueamento da pasta, secagem da pasta e fardos de pasta.

1. Descasque e destroçamento: A matéria prima, rececionada em rolaria ou sob a forma de aparas, é descascada e destroçada.

2. Cozimento da madeira: A madeira destroçada passa por um processo de crivagem. Seguidamente, é adicionado o licor branco que atua dissolvendo a lenhina. A separação das fibras de celulose da lenhina resulta em dois produtos, a pasta crua e o licor negro.

3. Lavagem da pasta: Nesta etapa, a pasta é lavada de forma a remover resíduos resultantes do processo de cozimento, passando também por um processo de pré-branqueamento.

4. Branqueamento da pasta: O branqueamento da pasta varia consoante o grau de brancura pretendido pela produção. O branqueamento é realizado através da ação de diferentes produtos químicos como o oxigénio, peróxido de hidrogénio e dióxido de cloro.

5. Secagem da pasta: A pasta resultante do processo anterior é enviada sobre uma tela em movimento onde lhe é retirada grande parte da água, por ação de vácuo. Por fim, é prensada e seca, resultando numa folha de grandes dimensões.

Após o processo de secagem, a folha final é cortada em folhas de menor dimensão, que são empilhadas em fardos de 250 kg. Esses fardos seguem para o armazém da pasta.

6. Fardos de pasta: No armazém da pasta, os fardos são agrupados com arames em unidades de oito fardos, denominados “units”. Posteriormente, as “units” são empilhadas e armazenadas no armazém de expedição, ficando a aguardar o seu envio para o cliente.

O processo produtivo da Celbi encontra-se representado esquematicamente na figura

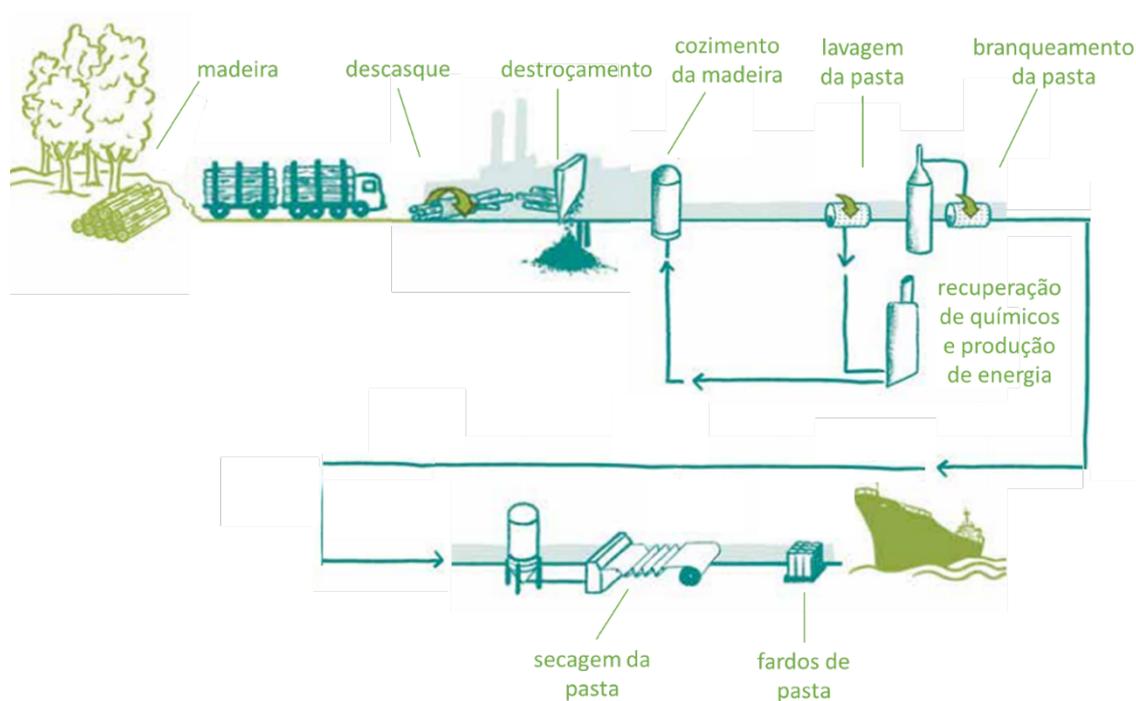


Figura 2.6. Processo produtivo da Celbi [Adaptado (Celbi, 2018a)]

2.2.2. Processo de expedição

A Altri possui uma subsidiária dedicada ao contacto com os clientes, a Altri Sales. A Altri Sales, que incorpora a logística da Celbi, é responsável por efetuar previsões de venda de cada tipo de pasta produzido na Celbi e nas restantes empresas do grupo.

A produção da Celbi pode ser realizada com dois propósitos:

- Para stock: a pasta é produzida para preencher determinados requisitos impostos pelas previsões de venda.
- Para encomenda: neste caso enquadram-se as encomendas de pastas especiais (ex.: grau de brancura mais elevado) que são produzidas em menor quantidade global e apenas por esta via.

Na Celbi estão disponíveis três armazéns de produto acabado (pasta de papel) - denominados armazém 2, 3 e 4 (o armazém 1 foi desativado para dar lugar à construção de uma nova linha de produção). No armazém 2 encontram-se geralmente armazenadas as pastas especiais, enquanto no armazém 3 e 4 se encontram armazenados os restantes tipos de pasta.

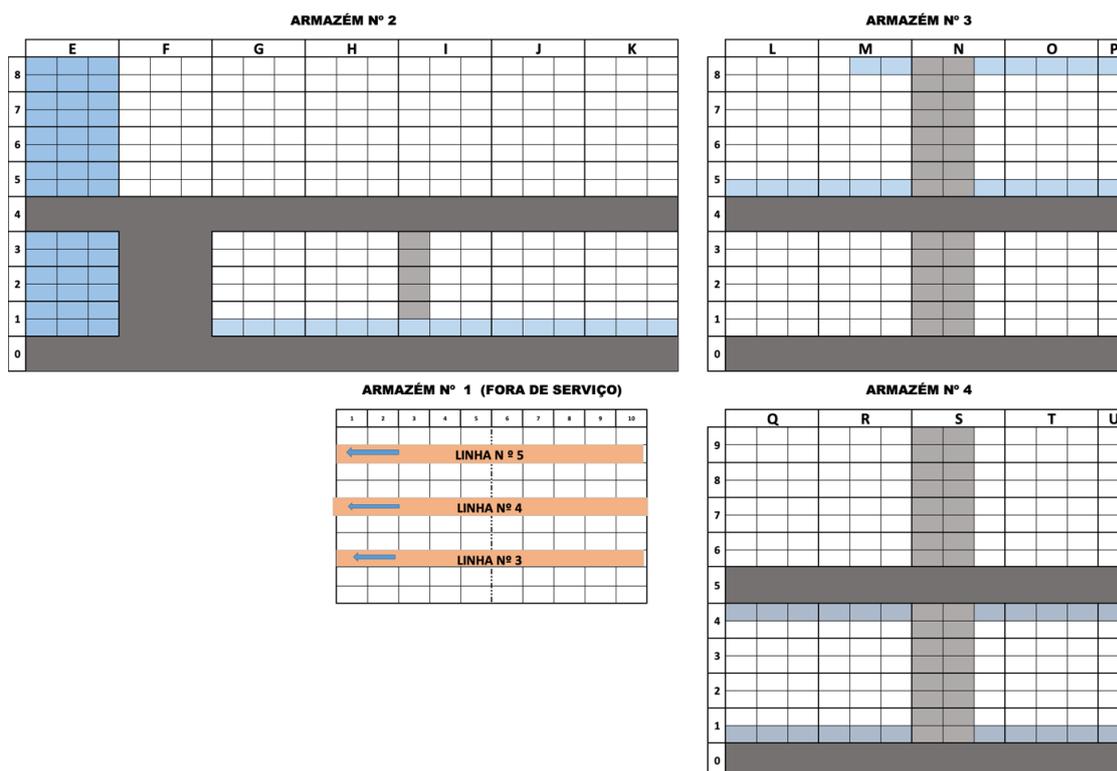


Figura 2.7. Esquema representativo dos armazéns de expedição da Celbi.

A figura 2.7 mostra o esquema representativo dos armazéns. As colunas (X), representadas por letras, e as linhas (Y), representadas por números, correspondem a um

sistema de coordenadas que tem como objetivo auxiliar as localizações da pasta nos armazéns. Assim, cada célula corresponde a uma localização dada pelas coordenadas X e Y.

As zonas a azul representadas na figura 2.7 correspondem a espaços vazios que têm como objetivo facilitar as movimentações dos empilhadores no armazém. Já as zonas a cinzento correspondem aos corredores de circulação. Por fim, as células em branco representam os espaços de armazenamento da pasta.

A expedição da pasta de papel é realizada de segunda a quinta-feira durante dois turnos, o turno da manhã e o turno da tarde. O turno da manhã decorre das 8h às 16h e o turno da tarde decorre das 16h às 00h. À sexta-feira os carregamentos decorrem das 8h às 19h.

Os fardos de pasta que saem das linhas de produção são retirados das mesmas e armazenados nos armazéns com auxílio de empilhadores operados por funcionários alocados a esta função como é ilustrado na figura 2.8.



Figura 2.8. Empilhador a realizar a arrumação da pasta no armazém de expedição.

O espaço do armazém a ocupar pela pasta é inicialmente atribuído por um *software* que considera as características da mesma (*grade*, embalagem) e indica o lugar mais apropriado. Posteriormente, o responsável de armazém avalia a recomendação do *software* e transmite a informação final aos funcionários responsáveis pela arrumação da pasta.

A figura 2.9 representa, de forma simplificada, o fluxo de informação decorrente desde o momento em que uma encomenda ou previsão é colocada no sistema, até ao momento da sua expedição.

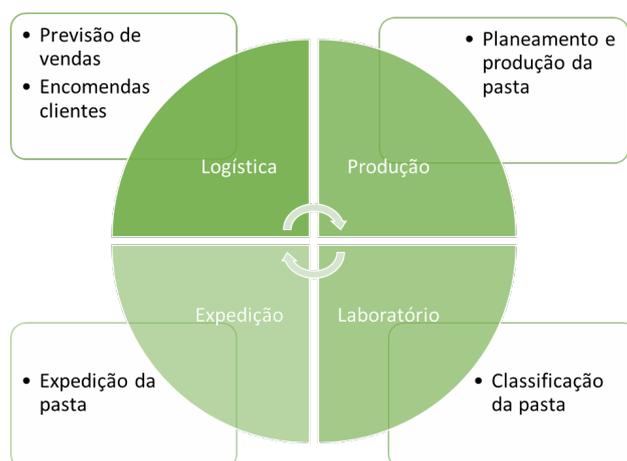


Figura 2.9. Fluxo de informação decorrido desde a encomenda até à expedição da pasta.

A Celbi possui clientes nacionais e internacionais. Para poder dar resposta à procura internacional, a Celbi possui armazéns próprios em 15 portos comerciais distintos, demonstrados na tabela 2.2. A pasta é enviada para estes armazéns por via marítima, a partir do Porto Comercial da Figueira da Foz (PCFF). Excecionalmente, a Celbi envia pasta a partir do Porto Comercial de Aveiro (PCA).

Tabela 2.2. Portos comerciais com armazéns próprios da Celbi

| CELBI | |
|------------|---------------|
| Porto | País |
| Stettin | Polónia |
| Montrose | Reino Unido |
| Blyth | Reino Unido |
| Workington | Reino Unido |
| Flushing | Países Baixos |
| Velsen | Países Baixos |
| Gavle | Suécia |
| Uddevalla | Suécia |
| Gluckstad | Alemanha |
| Brake | Alemanha |
| La Pallice | França |
| Monfalcone | Itália |
| Livorno | Itália |
| Tarragona | Espanha |
| Pasajes | Espanha |

O processo de *picking* varia de acordo com o destino da pasta. A pasta que segue para o porto comercial da Figueira da Foz é transportada por via rodoviária em camiões especiais com capacidade de 40 toneladas, denominados *gigaliners*. A Celbi possui 8 a 9 destes camiões exclusivos para este tipo de transporte. Por outro lado, a pasta que sai da fábrica com destino ao cliente por via rodoviária é transportada em camiões cobertos operados por empresas externas que podem ter capacidade variável entre 24 a 26 toneladas.

Em síntese, o processo de expedição e *picking* pode ser traduzido de duas formas conforme o seu destino, seja este o cliente final ou o porto comercial da Figueira da Foz:

Transporte rodoviário: O camião chega à portaria da fábrica, ficando a aguardar a autorização de entrada para as instalações fabris num sistema de fila de espera única. A entrada dos camiões na fábrica respeita a política FIFO (First In First Out). Assim que os armazéns possuem um espaço livre para carregamento, o camião obtém a autorização para seguir até ao local de carregamento. O carregamento é efetuado por um funcionário do armazém. Após o carregamento, o camionista procede à cintagem da carga. Por fim, desloca-se até à portaria, seguindo o seu destino até ao cliente.

Transporte misto (rodoviário e marítimo): O transporte desde a fábrica até ao PCFF é realizado pelos *gigaliners*. Estes camiões especializados movimentam-se até ao interior dos armazéns, onde são carregados. Posteriormente, deslocam-se até ao exterior, onde o camionista realiza a cintagem da carga. De acordo com as condições meteorológicas, o camionista tem a possibilidade de colocar uma lona de proteção sobre a carga, que exige um tempo adicional. Assim que os camiões chegam ao PCFF, são descarregados com o auxílio de gruas e a pasta é carregada no navio, que segue para o porto de destino.

A chegada de um navio ao PCFF é comunicada com três dias de antecedência, de forma a que a Celbi possa preparar o carregamento. O carregamento dos camiões que seguem para o PCFF é realizado paralelamente com os carregamentos que seguem para o cliente final. Em regra geral, são carregados 5 a 6 camiões de transporte rodoviário. Existem 2 funcionários alocados à tarefa de carregamento marítimo (*gigaliners*) e 1 alocado ao carregamento dos camiões TIR (transporte rodoviário).

A tabela 2.3 resume as características de cada rota e respetivos meios de transporte.

Tabela 2.3. Características das diferentes rotas existentes na Celbi

| Rota | Meio de transporte | Características |
|--|--|---|
| Celbi – Porto Comercial F. Foz (Transporte misto) | Camião especializado (<i>Gigaliner</i>) | Capacidade: 40 toneladas No. camiões disponíveis: 8 |
| Porto Comercial F. Foz – Porto destino (Transporte misto) | Navio | Capacidade: 3500 a 4500 toneladas Limitações: Condições meteorológicas e marítimas |
| Celbi – Cliente (direto) (Transporte rodoviário) | Camião regular | Capacidade: 24 a 26 toneladas |

A cadeia de abastecimento da Celbi pode ser traduzida, de uma forma bastante simplificada, no esquema presente na figura 2.10. O esquema representa os principais momentos que decorrem desde a floresta, à transformação da pasta e sua expedição para o cliente. É possível verificar os dois tipos de processos distintos que decorrem caso o cliente seja doméstico ou internacional, tal como explicado anteriormente.

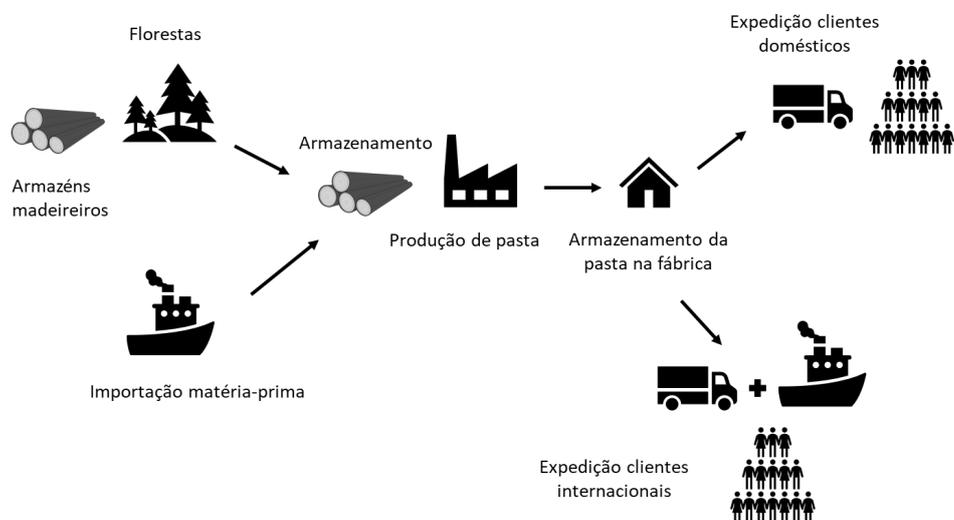


Figura 2.10. Representação simplificada da cadeia de abastecimento da Celbi

2.3. Objetivos

Desde o ano em que foi fundada, a Celbi tem aumentado a sua capacidade produtiva. Devido ao aumento do volume de produção e, conseqüentemente, ao volume expedido, a empresa enfrenta alguns desafios, nomeadamente a nível logístico. Um dos

desafios enfrentados pela Celbi consiste na gestão das chegadas dos camiões ao armazém de expedição que, face ao aumento do volume de expedição, se tornou num processo crítico com tendência a formar filas de espera. No primeiro semestre de 2019, o volume de chegadas ao armazém rondava, em média, 91 camiões por dia.

Atendendo aos factos mencionados anteriormente, o objetivo do presente estudo consiste em efetuar uma análise ao processo de expedição da Celbi, incidindo particularmente sobre as variáveis que influenciam diretamente a formação de filas de espera à entrada do processo de expedição e que aumentam, conseqüentemente, o tempo de atendimento – tempo que decorre desde a chegada do camião à unidade fabril até à respetiva saída.

À semelhança de outros projetos já desenvolvidos na empresa, será conduzida uma análise estatística às chegadas dos camiões ao armazém, de forma a compreender os fatores que influenciam o tempo de permanência de cada camião nas instalações. Esta análise servirá como base para a definição da metodologia apropriada.

A caracterização das chegadas e performance do processo de expedição consiste num estudo importante para a empresa, uma vez que a mesma poderá adaptar os seus processos como medida de resposta ao comportamento do sistema.

De modo a alcançar o objetivo pretendido, será necessário realizar uma caracterização do funcionamento do processo de expedição, bem como dos principais processos logísticos envolvidos na operação. Será ainda realizada uma breve descrição do processo produtivo da Celbi, de forma a caracterizar globalmente as suas operações.

Após a caracterização da situação atual, será conduzida uma revisão da literatura que terá como principal foco estudos na área de logística, gestão da cadeia de abastecimento, indústria da pasta e papel, otimização de armazéns, transporte e filas de espera. Com base nessa mesma revisão, será adotada uma metodologia, seguida de uma recolha de dados, para que se consiga atingir o objetivo da dissertação.

Por fim, serão apresentados os resultados relativos à metodologia adotada e serão formuladas e avaliadas propostas de melhoria no atual processo de expedição.

2.4. Conclusões

Ao longo do capítulo realizou-se uma descrição da Celbi e das suas atividades, com especial foco no processo de expedição. Neste, distinguiram-se dois tipos de transporte que chegam às instalações: os camiões que realizam o transporte até ao PCFF e os camiões que realizam o transporte até ao cliente final. É importante esta distinção, uma vez que, consoante o tipo de transporte, este assume uma prioridade diferente no sistema.

Verificou-se que o processo de expedição da Celbi possui tendência a formar filas de espera que prejudicam o desempenho da sua cadeia de abastecimento. Assim, o processo de expedição surge como uma área de melhoria da performance da organização e, por esse motivo, será o foco desta dissertação.

3. REVISÃO DA LITERATURA

Antes da década de 50, logística era um conceito utilizado sobretudo no contexto militar. Mais tarde, com a explosão dos mercados, a logística ganhou uma posição de destaque nas organizações. Depressa as empresas se aperceberam dos benefícios que a integração de várias áreas como o serviço ao cliente, compras e *marketing* trazia para as suas operações. A evolução das tecnologias de informação, implementação de filosofias de melhoria contínua e aumento do número de estudos na área, vieram cimentar a importância da logística empresarial (Sindi & Roe, 2017).

Uma das mais recentes mudanças de paradigma na logística surgiu com a introdução do conceito “Gestão da Cadeia de Abastecimento” – GCA (Larson & Halldorsson, 2004). Este conceito engloba a logística como um todo, integrada numa complexa ligação em rede entre várias entidades empresariais (Sheffi & Klaus, 1997). Apesar da notoriedade que a GCA ganhou nos últimos anos, parece não existir uma definição única para este conceito (Croxtton et al., 2006). Alguns autores identificam a GCA como uma extensão da logística, ou como um sinónimo de logística. De acordo com Gammelgaard e Larson (2001), na GCA é necessária uma coordenação entre várias empresas e processos, o que vai além da logística clássica. Os autores Ballou (2007) e Cooper et al. (1997) defendem nos seus trabalhos a existência de uma distinção entre os conceitos “logística” e “gestão da cadeia de abastecimento”. Também a organização CSCMP – *Council of Supply Chain Management Professionals* – distingue GCA e logística. Segundo o CSCMP a GCA “engloba o planeamento e gestão de todas as atividades envolvidas no fornecimento, aprovisionamento, conversão e todas as atividades de gestão logística. (...) incluindo a coordenação e colaboração entre parceiros que podem ser fornecedores, intermediários, prestadores de serviços e clientes.” Enquanto a mesma instituição define logística como “parte da GCA que planeia, implementa e controla de forma eficiente o fluxo eficiente e efetivo de armazenamento de bens, serviços e informações entre o ponto de origem e o ponto de consumo (...)” (CSCMP, 2013).

Considerando as definições anteriores, infere-se que a logística representa uma parte da GCA que atua na gestão e planeamento entre todos os intervenientes da rede. Ou seja, a GCA é mais global, aplicando-se a um conjunto de empresas ou intervenientes. Por outro lado, a logística possui um âmbito mais reservado e de aplicação mais restrita (a nível local – dentro da própria organização).

Deve ainda distinguir-se entre “Cadeia de Abastecimento” – CA – e GCA. A “cadeia de abastecimento” é constituída por três ou mais entidades diretamente envolvidas nos processos a montante e a jusante do fluxo de produtos, serviços, finanças ou informações desde o ponto de origem até ao cliente final. Os conceitos CA e GCA são, por isso, distintos, uma vez que a existência de uma CA não pressupõe o interesse da organização em gerir essa mesma cadeia (Mentzer et al., 2001). Deve considerar-se CA como um fenómeno que ocorre nas organizações e GCA enquanto estratégia de gestão que se aplica a esse mesmo fenómeno.

Em termos práticos é muito difícil separar a logística empresarial da GCA, uma vez que ambas possuem missões idênticas: colocar os produtos ou serviços certos, no lugar certo, no momento certo e nas condições desejadas (Ballou, 1992).

Atualmente, o termo “logística” encontra-se praticamente indissociável do termo GCA já que uma gestão logística de excelência pressupõe a coordenação e comunicação entre as várias entidades envolvidas nos processos logísticos, que recai no âmbito da GCA.

A logística desempenha um papel muito importante na globalização dos mercados, que depende profundamente da eficiência das operações de transporte. Além disso, os custos que esta representa são significativos. Em 2016, num estudo publicado pela agência *Armstrong & Associates*, foi determinado que os custos totais associados à logística na Europa correspondiam a 9,5% do PIB naquele ano. De acordo com Langley e Holcomb (1992), a importância da logística deve-se ao facto de as suas atividades serem capazes de criar valor. O valor criado pela logística caracteriza-se pelo “tempo” e “lugar”. Ou seja, os produtos possuem pouco ou nenhum valor caso não sejam disponibilizados no momento certo e na altura certa, onde são necessários. Por isso, a logística possui a capacidade de afetar a forma como o cliente percebe o serviço.

A sua importância na criação de valor, o papel de relevância que desempenha na globalização dos mercados e os seus custos significativos, fazem da logística uma área crítica ao sucesso de qualquer organização. Da logística e GCA dependem a sustentabilidade da

organização a longo prazo, bem como a expansão dos seus negócios e a garantia de um bom nível de serviço ao cliente (Novack et al., 1994).

3.1. O papel dos armazéns na cadeia de abastecimento

No passado, os armazéns eram referidos frequentemente como “centros de custo” que raramente acrescentavam valor às operações das empresas (Maltz & Dehoratius, 2004). De facto, quase metade dos custos da maioria das cadeias de abastecimento está relacionado com a falta de gestão da logística *outbound* e dentro dos próprios centros de distribuição. Contudo, atualmente, os armazéns são vistos como uma ligação vital entre todos os elementos de uma cadeia de abastecimento. Além disso, sabe-se que muitos dos custos associados às suas operações podem ser reduzidos através da implementação de melhorias (Alicke & Lösch, 2010).

Apesar da tendência crescente da adoção de filosofias de gestão que preconizam a redução de *stock* a níveis mínimos, os armazéns continuam a ter um papel determinante na cadeia de abastecimento. Os mercados não são 100% previsíveis, existindo sempre incerteza associada, por esse motivo é necessário criar pontos de inventário entre os vários elementos da CA (Richards, 2014) e cabe aos armazéns armazenar e gerir esse mesmo inventário. Através da criação de *stock*, os armazéns conseguem mitigar os possíveis riscos associados a flutuações na procura e atrasos no transporte (Baker, 2007). Por outras palavras pode considerar-se o armazém como um *buffer* entre dois pontos da CA. Além desta função, existem outros tipos de armazéns que funcionam apenas como um local de troca de bens, ou *cross docking* (Gu et al., 2007).

Recentemente, o aumento da competitividade entre as empresas fez com que os armazéns passassem a ter mais desafios incluindo o maior controlo dos seus inventários, menor tempo de ciclo e maior variedade de produtos. Por outro lado, a implementação generalizada de tecnologias de informação tais como a RFID (*radiofrequency identification*) e sistemas de gestão de armazéns (WMS – *warehouse management systems*) permitiu que novas oportunidades de melhoria surgissem (Frazelle, 2016).

No armazenamento são consideradas como atividades principais o recebimento, a seleção do local (onde são armazenados os produtos), o armazenamento dos produtos propriamente dito, o *picking* e o despacho/expedição (envio dos produtos para o cliente). A

distribuição do produto constitui um elo de ligação importante entre a empresa e o cliente. Operações ineficientes ou não confiáveis nos armazéns e no transporte possuem efeitos negativos que vão além dos custos (Rouwenhorst et al., 2000).

Gu et al. (2007) elaboraram uma revisão sistemática da literatura sobre armazéns e as suas operações. As principais decisões associadas a cada operação mencionada anteriormente encontram-se listadas na tabela 3.1.

Tabela 3.1. Descrição das operações desempenhadas nos armazéns e principais decisões [Adaptado (Gu et al., 2007)]

| Operação | Decisões |
|-------------------------|--|
| Recebimento e expedição | <ul style="list-style-type: none"> • Atribuição de cais de carregamento • Atribuição de encomenda a camião • Escalonamento da expedição |
| Armazenamento | <ul style="list-style-type: none"> • Atribuição de espaço de armazenamento • Divisão dos produtos por áreas estratégicas |
| <i>Picking</i> | <ul style="list-style-type: none"> • Roteamento e sequenciamento do <i>picking</i> • Escolha da política de <i>picking</i> |

Existe a necessidade de quantificar e qualificar a eficiência dos armazéns de forma a poder melhorar os seus processos. A medição da performance dos armazéns deve-se à necessidade de assegurar a satisfação do cliente, possuir métricas de melhoria contínua, proporcionar uma formação contínua aos seus funcionários e recompensá-los quando certas metas são alcançadas (Staudt et al., 2015). Por isso, as empresas devem definir e adotar medidas de performance que se adequem aos seus processos, de forma a quantificarem e qualificarem os seus serviços e operações e detetarem oportunidades de melhoria. De acordo com Richards (2014) essas métricas devem indicar parâmetros de fiabilidade, flexibilidade, custos e taxa de utilização dos recursos. Como medidas de performance mais utilizadas pelas empresas encontram-se: a área de utilização do armazém, taxa de utilização de recursos (mão de obra) e unidades expedidas por hora. Uma outra medida frequente utilizada para medir a performance dos armazéns consiste na medição do tempo que decorre desde que uma ordem ou pedido de carregamento chega ao armazém, até que a mesma seja cumprida (Frazelle et al., 2002).

A difusão da filosofia *lean* nas empresas depressa levou a que a mesma se aplicasse aos armazéns. Na sua essência, *lean* consiste numa filosofia cujo princípio consiste na eliminação dos desperdícios e perdas, ao mesmo tempo que se melhora continuamente (Anđelković et al., 2016). Contudo, poucas empresas aplicam os mesmos fundamentos aos transportes e armazenamento, sendo uma das possíveis causas a enorme diversidade que existe neste tipo de operações e a relutância da sua implementação nestas áreas (Mustafa, 2020). Recentemente, surgiram vários estudos que consistem em verificar a aplicação prática do pensamento *lean* aos armazéns – *lean warehousing*. Estudos focados nesta área revelam-se promissores e consistentes quanto à diminuição dos níveis de inventário, diminuição do espaço necessário ao armazenamento, aumento de produtividade, redução de custos e redução de *lead time*, contudo a literatura existente ainda é limitada.

3.1.1. O processo de expedição e transporte

Segundo Frazelle et al. (2002) operação de expedição é geralmente composta por várias tarefas:

- Embalamento da mercadoria e seu acondicionamento
- Preparação de documentos e guias de transporte
- Pesagem da mercadoria
- Carregamento dos camiões/contentores (nalguns casos esta tarefa é da responsabilidade da transportadora)

Após o carregamento, os bens são transportados até ao local de consumo. O transporte é a atividade logística mais cara, representando mais de 40% dos custos logísticos das empresas.

Atualmente, sobretudo devido às mudanças demográficas e económicas, o transporte encontra-se inserido num ambiente totalmente diferente daquele que as empresas conheciam há uma década. Esta mudança de paradigma expande a gama de objetivos, impactos e opções consideradas no planeamento do transporte (Litman, 2013).

O transporte corresponde ao elo de ligação logístico entre a empresa e o cliente ou outros membros da cadeia (Alicke & Lösch, 2010). De facto, o transporte desempenha um papel crítico na GCA. Não adianta melhorar todas as restantes operações se estas melhorias não forem acompanhadas por uma excelência na execução e planeamento do transporte (Stank & Goldsby, 2000).

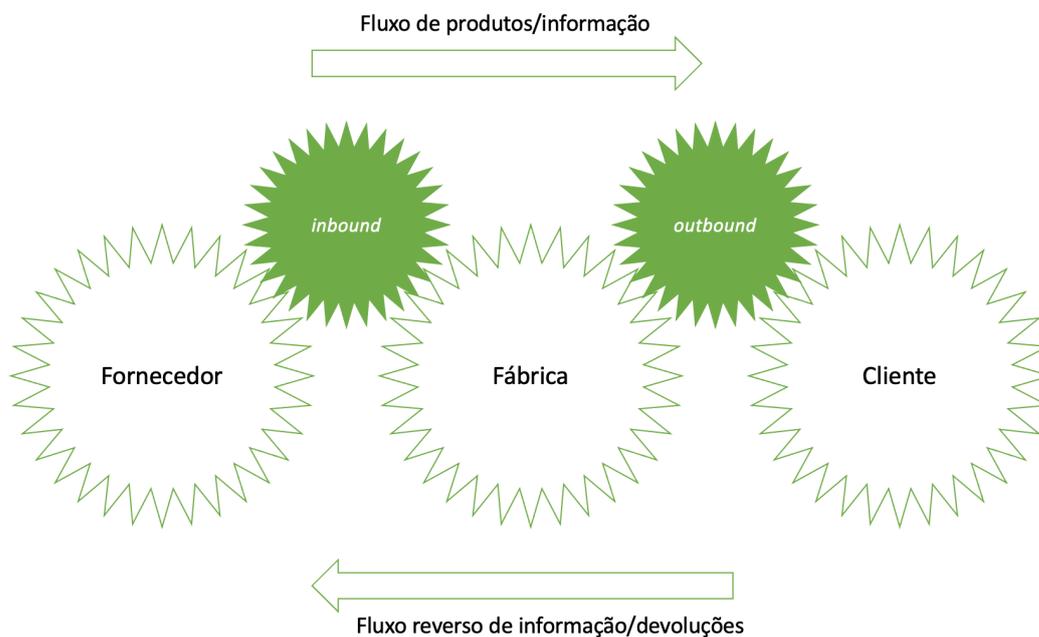


Figura 3.1. Contribuição e valor do transporte na CA [Adaptado (Stank & Goldsby, 2000)]

A figura 3.1 representa esquematicamente a importância do transporte na cadeia de abastecimento. As rodas dentadas representam as várias entidades da cadeia. Cada roda está dependente das subsequentes para fazer com que a operação continue. Por isso, a cadeia de abastecimento é apenas tão forte quanto o seu elo mais fraco. Se uma das rodas falhar, então a cadeia completa falha. Se o transporte for gerido separadamente das restantes operações, geralmente este representa o elo mais fraco (Stank & Goldsby, 2000).

O papel desempenhado pelo transporte na CA é semelhante ao papel da expedição, uma vez que ambos se encontram relacionados. De acordo com Potter e Lalwani (2007) os cais de expedição e sua performance têm sido reconhecidos como aspetos chave para as operações de transporte. Atrasos gerados na etapa de expedição podem comprometer o serviço ao cliente e criar custos adicionais para a empresa.

Na sua revisão sistemática, Gu et al. (2007) abordam as decisões básicas relativas ao processo de expedição que podem ser descritas como:

Dadas as:

- 1) Informações acerca das chegadas tais como o horário previsto.
- 2) Informações acerca das encomendas e respetiva data de entrega.
- 3) Informações acerca do *layout* do armazém e localização dos cais de carregamento.

Deverá determinar-se:

- 1) A alocação do cais de carregamento a cada caminhão.
- 2) O escalonamento de cada caminhão para cada cais de carregamento.
- 3) A alocação e expedição do material considerando os recursos disponíveis.

A tomada de decisão na expedição encontra-se limitada pelo nível de visibilidade dos carregamentos, existindo três cenários possíveis consoante a visibilidade dos carregamentos (Gu et al., 2007):

1. Não existe qualquer visibilidade ou conhecimento da ordem de chegada das cargas;
2. Existe conhecimento estatístico da ordem de chegada das cargas;
3. Existe visibilidade total da chegada das cargas;

O segundo cenário é o mais comum entre as empresas. Enquanto o terceiro cenário seria considerado o ideal, uma vez que fornece dados importantes que auxiliam o planeamento das operações de expedição.

O processo de carregamento e expedição é crucial nos dias que correm devido ao elevado custo dos combustíveis e questões ambientais. Espaços vazios nos carregamentos significam maiores custos e ineficiências no processo de transporte (Richards, 2014). Quanto ao planeamento das chegadas aos armazéns, sabe-se que uma das maiores dificuldades enfrentadas pelas unidades industriais consiste em realizar uma gestão adequada das mesmas. Particularmente, no caso da indústria da pasta de papel, a exigência rápida de produtos e necessidade de utilização de terceiros para a realização de transporte, fazem com que múltiplos camiões cheguem às unidades fabris ao mesmo tempo, provocando o congestionamento e a formação de filas de espera a determinadas horas do dia (Marques et al., 2012). Qualquer atraso num dos processos de expedição (entrada do veículo, carregamento dos materiais, saída da fábrica) resulta em atrasos significativos e aumento do tempo de expedição, que pode levar ao aumento dos custos de transporte (Zuting et al., 2014). Por isso, a formação de filas de espera na entrada dos armazéns consiste numa ineficiência que irá afetar o desempenho da cadeia de abastecimento.

De acordo com a filosofia *lean*, abordada brevemente na secção 3.1, as atividades podem ser classificadas como as: que adicionam valor; que não adicionam valor (desperdícios). Uma redução do *lead time*, ou tempo de espera, pode ser alcançada através da eliminação de atividades que não adicionam valor (ex.: preencher formulários extensos).

3.2. Teoria de filas de espera e simulação

Existe um grande número de estudos de aplicação e modelação de filas de espera a problemas de congestionamento. Alguns estudos focam-se no setor da restauração, particularmente nas cadeias de *fast-food* que, devido às suas características, possuem tendência a formar longas filas nos períodos de refeição. Outros incidem no tráfego rodoviário ou serviços como bancos e lojas, que possuem períodos do dia com maior afluência. Contudo, estudos relacionados com a aplicação da teoria de filas de espera a problemas de congestionamento de veículos em processos de logística *inbound* (recebimento) e *outbound* (expedição) são praticamente inexistentes.

Dos estudos focados no congestionamento de veículos em processos logísticos, destacam-se os trabalhos de Guan e Liu (2009), Potter et al. (2007), de Chen et al. (2013), e de Azab e Eltawil (2016).

No seu estudo, Guan e Liu (2009) elaboram um modelo de filas de espera com múltiplos servidores, de forma a analisarem o congestionamento à entrada de um terminal portuário. O objetivo da modelação é quantificar os custos associados aos tempos de espera. Os autores propõem várias alternativas ao sistema, incluindo a adição de novos servidores. Por fim, concluem que a implementação de um sistema de marcações com janelas horárias é o cenário mais vantajoso, uma vez que este permite fazer um nivelamento da taxa de chegadas, reduzindo o tempo de espera e custos associados.

Potter et al. (2007) conduzem um estudo baseado na aplicação de simulação a um sistema de filas de espera formado no processo de expedição de uma empresa metalúrgica. O objetivo é encontrar estratégias que consigam melhorar a performance do processo de expedição. Os autores concluíram que a utilização da simulação de eventos discretos permitiu fazer uma análise eficaz ao problema, tendo determinado que uma redução dos tempos de processamento no processo seria a medida mais eficaz de forma a aumentar

a performance do processo de expedição. Os resultados do estudo encorajaram a empresa a realizar investimentos na área da expedição, de forma a aumentar a sua produtividade.

No estudo conduzido por Chen et al. (2013) foi avaliado um caso de estudo focado na logística *inbound* de um porto comercial. À semelhança do estudo de Guan e Liu (2009) o objetivo também consistia na redução do tempo de espera dos camiões à entrada do terminal. Para isso, realizaram um estudo de simulação. Como medida para a redução dos tempos de espera, também neste caso foi proposta a utilização de um sistema de marcações com janelas horárias.

Por último, no caso de estudo avaliado pelos autores Azab e Eltawil (2016) o objetivo é a redução do tempo total de sistema, que decorre desde que o veículo dá entrada no terminal portuário. Neste estudo, à semelhança dos anteriores, também a atribuição de janelas horárias para carregamento é selecionada como medida de atenuação do efeito de congestionamento à entrada do porto.

Após uma leitura cuidada, pode concluir-se que existem pontos em comum aos vários estudos apresentados. Um deles é a utilização de simulação como ferramenta de análise do sistema. Após construção do modelo, os vários autores utilizam-no como ponto de partida para testar vários cenários. Por fim, três dos casos de estudo analisados, propõem a criação de um sistema de marcação em janelas horárias, de forma a nivelar a taxa de chegadas ao longo do dia.

Na indústria da pasta e papel também existem alguns casos de estudo de aplicação de modelação de filas de espera com recurso a simulação. O mais relevante consiste no estudo de Marques et al. (2012). Este estudo foca-se na formação de filas de espera na receção das matérias primas de uma indústria de celulose portuguesa. Baseando-se no princípio *revenue management* que, de forma sucinta, corresponde à análise do comportamento do consumidor de forma a otimizar a disponibilidade de um serviço, a solução proposta consiste na utilização de *slots* de carregamento, semelhantes às janelas horárias propostas nos modelos anteriores. A diferença deste caso de estudo traduz-se na atribuição de um incentivo quando a chegada ocorre no tempo previsto. Com estas medidas implementadas, a empresa conseguiu reduzir em 55% o custo diário associado à receção das matérias primas, quando comparado com a política anterior (FIFO).

As características dos sistemas de filas de espera fazem com que a sua aplicação seja universal, sendo facilmente adaptável ao problema desde que este possua algumas características que, de acordo com Tavares et al. (1996), são a existência de clientes (sejam eles pessoas, veículos) e de um serviço, pelo qual os clientes têm de esperar numa fila.

A principal estrutura de um sistema de fila de espera é constituída por três elementos básicos, cada um com diferentes atributos (Tavares et al., 1996):

Fonte: dá origem aos clientes do sistema e é caracterizada por:

- Dimensão da população: Finita – quando o número de clientes no sistema pode ser uma parte significativa da população. / Infinita – quando a probabilidade de chegada de um cliente não é afetada pelo número atual de clientes no sistema.
- Dimensão da chegada: Geralmente dividida entre chegadas individuais ou em grupo
- Controlo das chegadas: Chegadas controláveis – quando as chegadas podem ser limitadas (ex.: dias inscrição num exame). / Chegadas incontroláveis – quando as chegadas não podem ser limitadas e controladas.
- Distribuição das chegadas: É geralmente descrita pela distribuição dos tempos entre chegadas que pode ser constante ou aleatório.
- Taxa de chegadas: Representada pelo símbolo λ que indica o número médio de clientes que chegam por unidade de tempo.
- Atitude dos clientes: Paciente – os clientes aguardam no sistema até que sejam atendidos. / Impaciente – os clientes deixam a fila após algum tempo ou por verificarem que a mesma é longa.

Fila: Consiste no “elemento” onde os clientes aguardam até serem servidos. É caracterizada por:

- Número de filas: Fila simples – quando existe apenas uma fila para todos os servidores. / Fila múltipla – quando existem várias filas para vários servidores.

- Comprimento da fila: Infinito – quando a capacidade da fila é muito grande quando comparada com os elementos que a constituem. / Finito – quando o comprimento da fila apenas consegue conter alguns clientes.
- Disciplina da fila: A disciplina FIFO (*first in first out*) corresponde à mais utilizada, contudo existem outras de acordo com as prioridades do sistema.

Serviço: Consiste no elemento do sistema que faz o processamento do cliente. É caracterizado por:

- Configuração do serviço: Traduz a forma como o serviço está organizado com servidores em paralelo ou série. Os servidores em conjunto constituem uma rede.
- Dimensão do serviço: Simples – O serviço é prestado individualmente. / Múltiplo – O serviço é prestado em grupo.
- Distribuição do tempo de serviço: De modo semelhante com a distribuição das chegadas, o tempo de serviço apresenta uma distribuição que pode ser constante ou aleatória.
- Taxa de serviço: Geralmente representada por μ , indica o número médio de clientes que podem ser atendidos por servidor e por unidade de tempo.

A classificação das filas de espera baseia-se em quatro critérios, geralmente representados como:

$$X/Y/Z/W$$

Onde, X representa a distribuição do tempo entre chegadas e Y distribuição do tempo de serviço. As distribuições podem ser classificadas em: M – distribuição exponencial negativa; G – qualquer distribuição; D – chegadas e atendimentos determinísticos.

O parâmetro Z representa o número de servidores em paralelo e o W representa outras características do sistema, tais como população finita.

Ainda de acordo com Tavares et al. (1996), as medidas de desempenho de filas mais utilizadas são:

- Comprimento médio da fila (L_q)
- Número médio de clientes no sistema (L)

- Tempo médio de espera no sistema (W_q)
- Taxa média de ocupação do serviço (%)

A caracterização das distribuições das chegadas e do atendimento consiste numa etapa fundamental da modelação do sistema de fila de espera, devendo principalmente:

- 1) Descrever a informação recolhida (histogramas, parâmetros amostrais)
- 2) Inferir os parâmetros da população (média e variância)
- 3) Ajustar uma distribuição teórica ao histograma experimental

Modelos complexos de filas de espera são, por vezes, difíceis de resolver analiticamente. Dessa forma, a simulação constitui uma ferramenta muito útil que permite ultrapassar as limitações de alguns modelos analíticos (Banks et al., 2005). Através da simulação é possível testar ideias ao aplicá-las aos modelos existentes de forma experimental (Hosseinpour & Hajihosseini, 2009).

De acordo com Law (2015), um sistema é constituído por um conjunto de entidades (pessoas, veículos, ...) que atuam em conjunto para alcançarem um determinado fim. O estado do sistema é um conjunto de características que definem o sistema num determinado ponto do tempo. Um sistema discreto consiste naquele cujas variáveis de estado do sistema mudam instantaneamente em pontos separados do tempo. Por oposição, um sistema contínuo representa-se por uma alteração continua das variáveis de estado do sistema.

A maioria das distribuições das chegadas segue uma distribuição de *Poisson* $\lambda(t)$, contudo, para muitos sistemas reais, $\lambda(t)$ é função do próprio tempo, isto significa que se trata de um processo não-estacionário de *Poisson*. Um exemplo de um processo não estacionário é a taxa de chegadas a um restaurante, que será maior durante as horas de almoço. Nesses casos, em que $\lambda(t)$ varia com o tempo, os tempos entre chegadas não são distribuídos de forma idêntica (Law, 2015). Por isso, não é adequado atribuir uma mesma distribuição, por exemplo, às chegadas dos camiões a uma unidade fabril caso esta tenha períodos de “pico”. Para a análise de um sistema com estas características é necessário utilizar métodos específicos (Newll, 1982).

Seja $A(t)$ as chegadas cumulativas ao sistema num dado t , então $A(t)$ corresponde a um processo não estacionário de *Poisson* se (Hall, 1990):

1. O processo possui incrementos independentes

$$2. \Pr [A(t+dt) - A(t) \begin{cases} = 0 \\ = 1 \\ > 1 \end{cases}] = \begin{cases} 1 - \lambda(t)dt \\ \lambda(t)dt \\ 0 \end{cases}$$

onde,

$\lambda(t)$ = taxa de chegadas em t

dt = intervalo de tempo diferencial

A definição de um processo não estacionário de *Poisson* é semelhante à de um processo estacionário, à exceção de λ , que passa a ser função do tempo. Este tipo de processo geralmente é traduzido por uma taxa de chegadas, que varia com o tempo. A taxa de chegadas, quando integrada em relação ao tempo, devolve o número de clientes esperados num determinado intervalo de tempo. A expressão encontra-se representada na equação seguinte.

$$E(\text{chegadas entre o intervalo de tempo } a \text{ e } b) = \int_a^b \lambda(t)dt$$

A solução analítica de sistemas de filas de espera que seguem um processo de *Poisson* não estacionário é demasiado complexa, por isso, a alternativa viável para o estudo deste tipo de sistemas é a utilização da simulação (Hall, 1990). Alguns *software* de simulação possuem ferramentas específicas que permitem modelar este tipo de sistemas.

A simulação é uma ferramenta com uma enorme capacidade de computação, sendo adequada à modelação de sistemas complexos, permitindo realizar experiências e testar cenários a um custo reduzido (Banks et al., 2005).

No que diz respeito à elaboração de um estudo de simulação, existem alguns passos elementares os quais são, de acordo com (Maria, 1997):

- 1) Identificação do problema
- 2) Formulação do problema
- 3) Recolha de dados do sistema
- 4) Formulação e desenvolvimento do modelo

- 5) Validação do modelo
- 6) Documentação do modelo para uso futuro
- 7) Delineação do plano de experimentação
- 8) Estabelecimento das condições de experimentação
- 9) Interpretação e apresentação de resultados
- 10) Recomendações

3.3. Conclusões

Através da revisão da literatura verificou-se a importância da logística e performance dos seus processos no sucesso da organização. Avaliou-se o papel dos armazéns na cadeia de abastecimento, em particular o papel dos transportes e expedição, que constituem um elo de ligação entre os elementos da CA.

Dentro dos processos de expedição e logística, verificou-se que existem alguns estudos com foco no congestionamento de veículos à entrada de instalações. Os estudos abordados na revisão seguem metodologias similares que combinam a análise de filas de espera e simulação de eventos discretos. Como parte das melhorias propostas nos estudos, encontra-se a criação de janelas horárias, as quais são atribuídas aos veículos.

Relativamente à teoria de filas de espera, verificaram-se os elementos básicos da constituição de um sistema de filas de espera e sua modelação. Um caso particular de modelação foi abordado, onde a taxa de chegadas é variável com o tempo. A este caso particular chama-se processo não estacionário de *Poisson*. Não existem métodos quantitativos simples que permitam inferir se o processo é não estacionário. Em vez disso, existem algumas técnicas de análise gráfica que permitem auxiliar esta tarefa. Uma das formas gráficas de verificar que um processo é não estacionário consiste em analisar o gráfico de $A(t)$. Num processo estacionário, $A(t)$ irá possuir oscilações em torno de uma tendência linear. São estas flutuações que causam a formação de fila de espera mesmo quando a taxa de chegadas é inferior à taxa de saídas. Contudo, se o processo não for estacionário, $A(t)$ irá possuir uma evolução errática (Newll, 1982). A imagem 3.2 mostra um processo estacionário de *Poisson*, note-se que os desvios da linha diagonal são pequenos e não seguem nenhum padrão.

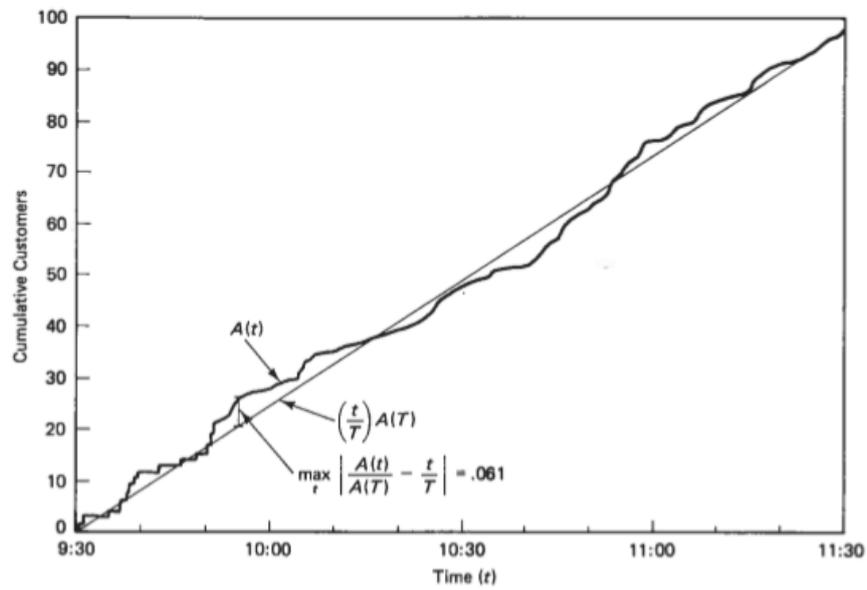


Figura 3.2. Exemplo do gráfico de $A(t)$ num processo estacionário de *Poisson* (Hall, 1990).

4. MODELAÇÃO BASEADA EM SIMULAÇÃO

O presente capítulo tem como objetivo apresentar a modelação do sistema baseada em simulação. Numa primeira fase, são definidas as etapas necessárias para a modelação do sistema e sua validação, que consiste na metodologia. Posteriormente, com base na metodologia, são realizadas as etapas da definição do problema e seus objetivos, seleção dos dados necessários à construção do modelo e elaboração de um modelo conceptual que servirá como base ao modelo de simulação. Após a definição do modelo e pressupostos, procede-se à verificação e validação do modelo, que têm como finalidade tornar o modelo credível para a análise de cenários que será realizada no capítulo seguinte.

4.1. Metodologia

A metodologia adotada nesta dissertação baseia-se num estudo de simulação de eventos discretos. Neste capítulo é proposto um modelo que pretende representar o sistema de filas de espera do armazém de expedição da Celbi. Pretende-se que o modelo construído seja flexível e que possa vir a ser utilizado no futuro pela empresa.

O fluxograma da metodologia e que representa as principais etapas a seguir ao longo do estudo pode ser consultado no Anexo I. Este fluxograma baseia-se nas etapas de um estudo de simulação propostas por Banks et al. (2005).

Na etapa 1, formulação do problema, é feita a descrição clara do problema em estudo e das suas características.

Na etapa 2, definição dos objetivos, é descrita uma definição clara dos objetivos a alcançar com o estudo de simulação e medidas de desempenho seleccionadas para o sistema.

Na etapa 3, conceptualização do modelo, é construído um modelo conceptual, o que servirá de base para a posterior representação no *software*.

Na etapa 4, recolha de dados, é realizada uma recolha de dados de acordo com os parâmetros necessários à construção do modelo. Esta etapa também engloba uma análise global dos dados bem como a estimação dos parâmetros da amostra recolhida.

Na etapa 5, criação do modelo, é contruído um modelo com base no modelo conceptual e dados recolhidos. O objetivo nesta etapa é capturar a essência do sistema, de forma a representar de forma simplificada a realidade do problema que se quer abordar.

Na etapa 6, verificação, deve ser verificado se o modelo se está a comportar como é suposto, com base no sistema real.

Na etapa 7, validação, devem ser comparados parâmetros obtidos a partir da simulação com a amostra. Se os parâmetros forem semelhantes e, através do conhecimento existente sobre o sistema, parecerem representar o processo na realidade, então considera-se que o sistema é válido.

Na etapa 8, *design* de experiências, devem ser considerados os cenários ou condições que se pretendam testar no modelo e, posteriormente, estas experiências devem ser replicadas e analisadas, o que coincide com a etapa 9.

Por fim, se o número de replicações for suficiente, então deve proceder-se à documentação e apresentação dos resultados.

4.2. Definição do problema e objetivos do modelo

A Celbi tem vindo a aumentar o seu volume de expedição nos últimos anos, como consequência do aumento da produção. Face a este crescimento, o processo de expedição tem sido alvo de ineficiências, que se traduzem num tempo de espera longo e que acarretam encargos financeiros à empresa. O objetivo da construção do modelo de simulação é estudar diferentes cenários que permitam reduzir o tempo de espera, contribuindo assim para o aumento da performance deste processo. De forma a analisar quantitativamente os diferentes cenários, foram selecionados os seguintes indicadores de performance:

1. Tempo de permanência nas instalações (Tempo no sistema);
2. Tempo de espera na fila;
3. Comprimento da fila de espera;

4.3. Recolha e análise de dados

Recorrendo ao sistema ERP – *Enterprise Resource Planning* – da Celbi, foram recolhidos dados de expedição relativos aos meses de janeiro a junho de 2019. Os dados são constituídos por um total de 11922 registos referentes aos camiões que deram entrada nas instalações da Celbi com destino ao armazém de expedição. Estes registos correspondem a um total de 126 dias de operação dos armazéns de expedição.

Cada linha de registo possui, entre outras, as seguintes informações:

- Remessa: Número identificativo da encomenda.
- Matrícula: Identificação do veículo de transporte.
- Material: O tipo de pasta e as respetivas especificações da encomenda.
- Recebedor da mercadoria: Nome da empresa que recebe a mercadoria.
Nota: No caso de encomendas com destino ao PCFF, o recebedor será o próprio porto comercial.
- Destino: Cidade referente ao ponto de entrega da encomenda. Neste caso também as encomendas com destino ao PCFF possuem o próprio porto como destino da mercadoria.
- Peso líquido do transporte: Que não deverá ultrapassar os limites máximos previstos na lei referente ao transporte de mercadorias.
- Data e hora de chegada às instalações: Informação apresentada no formato DD/MM/AAAA HH:MM:SS
- Data e hora de início de carregamento: Período em que é atribuído um cais de carregamento ao veículo.
- Data e hora de saída das instalações: Também no formato anterior.

4.3.1. Análise preliminar dos dados obtidos

De forma a compreender de uma forma geral como se comporta o processo de expedição da Celbi, será realizada uma análise a vários parâmetros dos dados recolhidos. Nesse sentido, algumas alterações foram aplicadas aos dados inicialmente obtidos do sistema. As variáveis resultantes dessas alterações e relevantes para o estudo do problema encontram-se representadas na tabela 4.1.

Tabela 4.1. Variáveis relevantes ao estudo do problema e respetiva descrição e formato.

| Nome da variável | Descrição | Formato/Valores |
|-----------------------------|--|-----------------------------------|
| Data registo | Corresponde à data da chegada do camião às instalações. | DD/MM/AAAA |
| Dia | Corresponde ao dia do mês da data do registo. Assume um valor entre 1 e 31. | Numérico |
| Dia semana | Diz respeito ao dia da semana em que foi realizado o registo. | Seg., ter., qua., qui. e sex. |
| Hora chegada | Hora à qual o camião dá entrada na portaria da unidade fabril. | HH:MM:SS |
| Hora Saída | Hora em que o camião regista a sua saída da unidade fabril. | HH:MM:SS |
| Turno | Turno no qual o camião deu entrada no sistema. | Manhã (8h-16h) Tarde (16h-24h) |
| Navio | É a variável que, com base no destino do camião, diferencia se o camião segue para o PCFF ou para o cliente final. | S – Sim N - Não |
| Tempo de permanência | Corresponde ao tempo de permanência do veículo nas instalações. É calculado com base na diferença entre a hora de saída e a hora de chegada. | Horas (decimal) |

Nota: De forma a simplificar a análise seguinte, passarão a designar-se por camiões para navio ou “camiões navio”, todos os camiões que tiverem como destino o PCFF e “camiões TIR” aos restantes têm como destino o cliente final. Reciprocamente, os carregamentos passarão a designar-se “carregamentos para navio” e “carregamentos TIR”.

O gráfico da figura 4.1 representa a percentagem de carregamentos para navio e de carregamentos TIR nos dados observados. A maioria dos carregamentos (53%) efetuados no armazém de expedição são TIR e os restantes 47% correspondem aos carregamentos para navio.

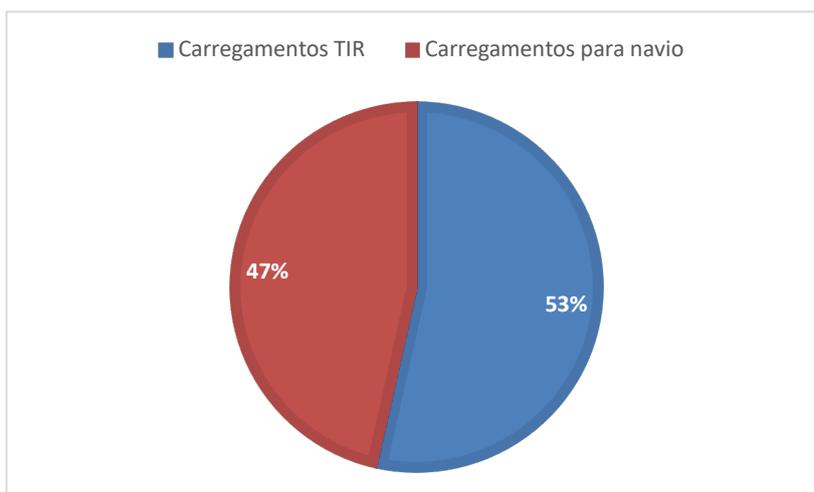


Figura 4.1. Tipologia de carregamentos observados nos dados e respetiva percentagem de observação.

De forma a visualizar a representatividade dos dados a nível mensal, elaborou-se um gráfico com o número médio de chegadas diárias de camiões às instalações. O gráfico obtido pode ser visualizado na figura 4.2.

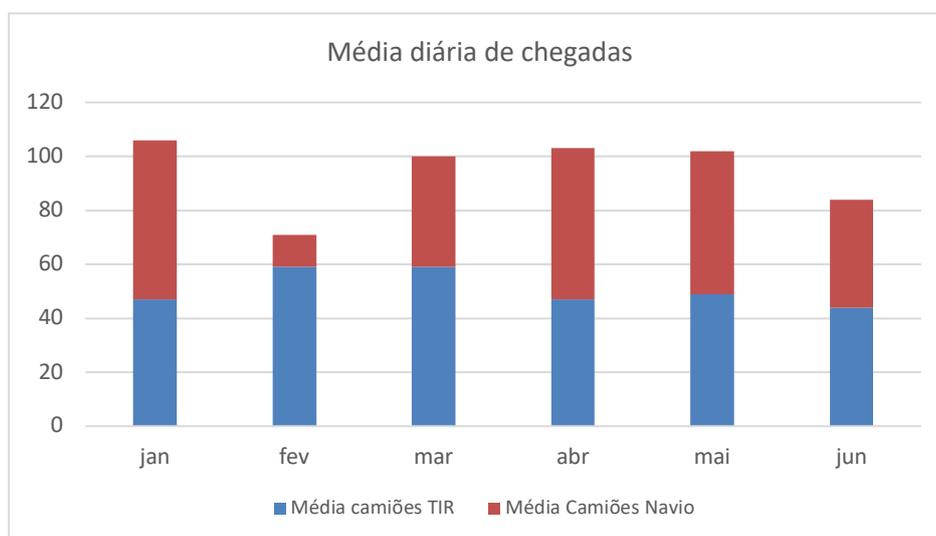


Figura 4.2. Média diária total de chegadas de camiões entre os meses de janeiro e junho de 2019.

Nota: A média do número de carregamentos foi obtida através do quociente entre o número total de carregamentos registados por mês e o número de dias de funcionamento do armazém nesse mesmo mês. Ao longo de todo capítulo será utilizada a mesma lógica para os restantes dados, de forma a eliminar a possível influência de um maior número de observações nos resultados.

Como é possível observar, há um número significativamente pequeno de carregamentos para navio relativo ao mês de fevereiro. Por outro lado, verificam-se que as variações observadas do número médio de carregamentos diários de camiões TIR são mais subtis. Na tabela 4.2 encontram-se a média e o desvio padrão respetivos a cada uma das amostras. É possível verificar que o desvio padrão dos carregamentos de camiões TIR é significativamente menor em comparação com os carregamentos para navio, o que corrobora a afirmação anterior.

Tabela 4.2. Parâmetros estatísticos das amostras recolhidas.

| Parâmetro | Camiões (Total) | Camiões TIR | Camiões para navio |
|---------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| Média diária | 94,17 camiões/dia | 50,83 camiões/dia | 43,5 camiões/dia |
| Desvio padrão | 12,46 camiões/dia | 5,96 camiões/dia | 15,79 camiões/dia |

Considerando a informação visual do gráfico da figura 4.2. e os parâmetros estatísticos apresentados na tabela 4.2. é possível concluir que existe uma variabilidade considerável no número total de carregamentos de acordo com o mês em que são efetuados. Contudo, os funcionários mais experientes da logística e armazéns afirmam que não existe sazonalidade na procura e, por esse motivo, os números de carregamentos são relativamente constantes qualquer que seja a altura do ano. O facto de o número de carregamentos para navio ter registado um valor mais baixo em fevereiro poderá estar relacionado com as condições climáticas típicas desta altura do ano, já que o navio é um meio de transporte muito afetado pelo meio envolvente (ex.: marés, correntes, estado de agitação do mar, entre outros). No entanto, para efeitos deste estudo irá considerar-se que esta amostra é representativa dos carregamentos ao longo dos meses.

O gráfico da figura 4.3 representa o número médio diário de camiões TIR que chegam às instalações ao longo dos meses de janeiro a junho de 2019. Os resultados estão distribuídos de acordo com os valores médios observados para cada período horário em intervalos de 1h.

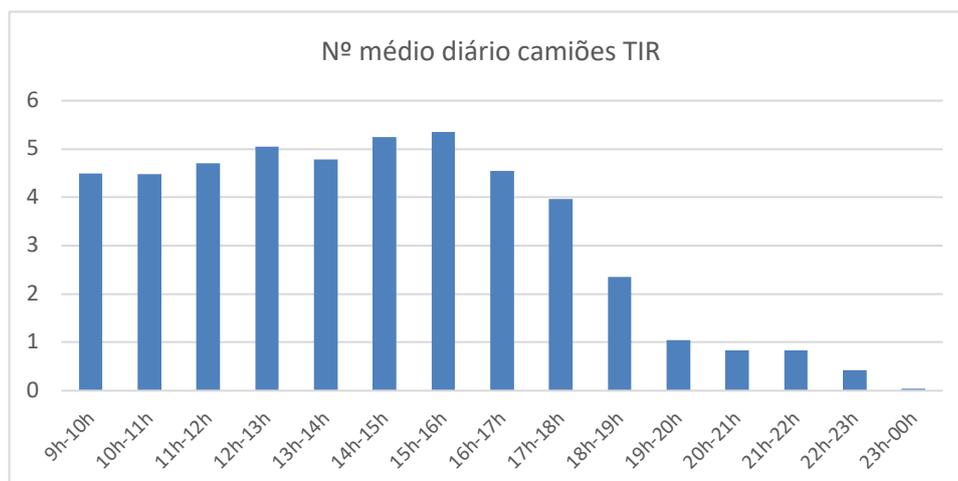


Figura 4.3. Média de chegadas de camiões TIR por período.

De forma similar, foi construído um gráfico com o número de chegadas médio por período horário (por dia) relativo aos camiões para navio. O gráfico obtido pode ser visualizado na figura 4.4.

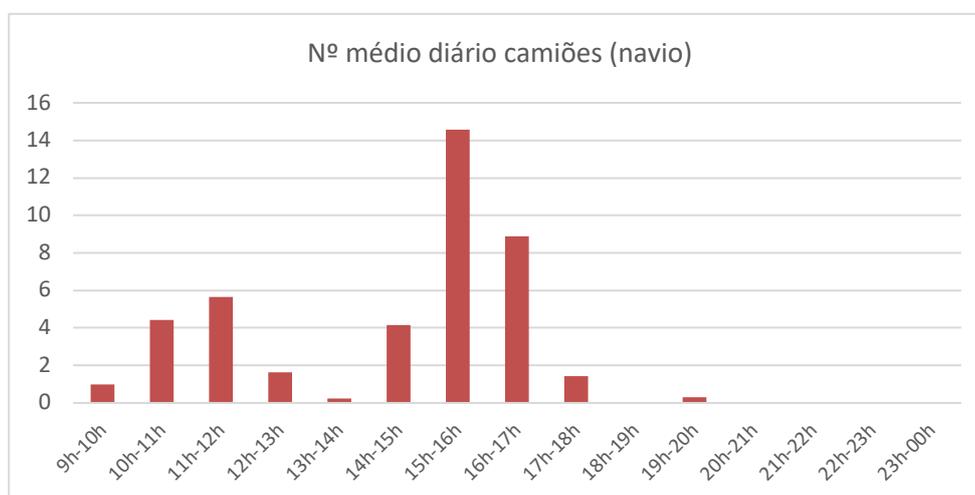


Figura 4.4. Média de chegadas de camiões para navio por período.

Como é possível observar na figura 4.4, os camiões para navio possuem um padrão claro nos horários de carregamento, havendo um pico máximo entre as 15h e as 16h da tarde e entre as 11h e as 12h, no período da manhã. Também através da figura 4.3 é possível detetar um pico máximo do número médio de camiões, com a maioria das chegadas a concentrarem-se entre as 9h e as 18h, havendo uma diminuição nos horários posteriores.

A distribuição total das chegadas pode ser visualizada no gráfico da figura 4.4. que agrupa as chegadas dos camiões TIR e para navio.

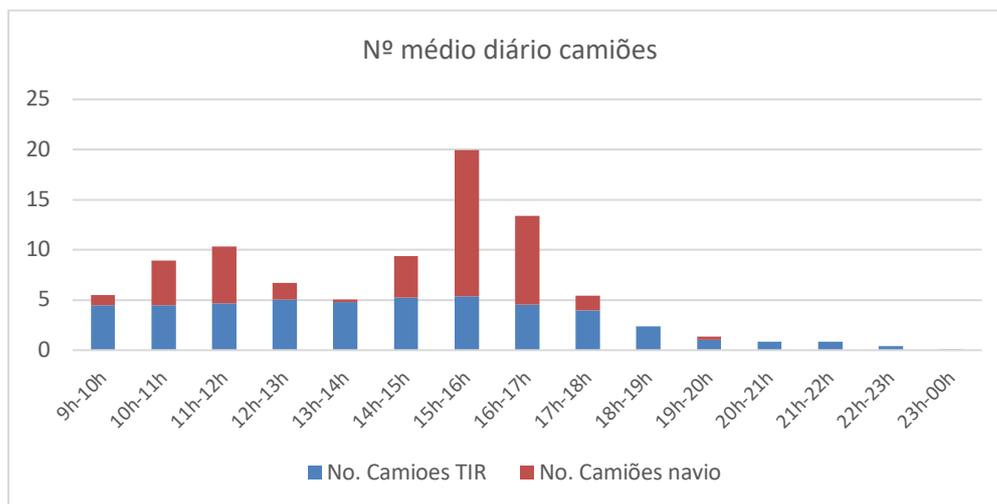


Figura 4.5. Média de chegadas de camiões (total) por período.

As chegadas de carregamentos para navio possuem uma influência clara na modelação do padrão das chegadas ao longo do dia. O gráfico da figura 4.5 mostra que existem dois máximos locais, um deles correspondente ao período da manhã, entre as 11h e as 12h e outro correspondente ao período da tarde, entre as 15h e as 17h (sendo este o máximo absoluto registado).

O comportamento dos carregamentos ao longo da semana pode ser consultado no gráfico da figura 4.6. É possível verificar que existe comportamento mais linear dos carregamentos TIR comparativamente aos carregamentos para navio, sendo que os últimos registam um valor mais baixo às quartas-feiras, com uma média de 30,7 camiões/dia.

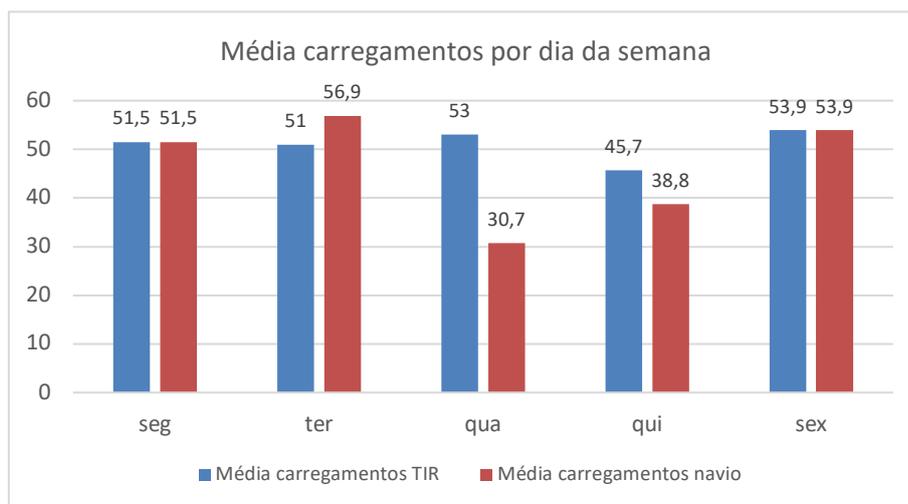


Figura 4.6. Média de carregamentos diários por dia da semana.

Uma das variáveis mais importantes neste estudo consiste no “tempo de permanência” dos camiões TIR que corresponde ao tempo que decorre desde a chegada do camião à portaria até à sua saída das instalações. Quanto maior for o tempo de espera, maior será o tempo de atendimento. O gráfico da figura 4.7 representa a distribuição dos tempos de permanência observados.

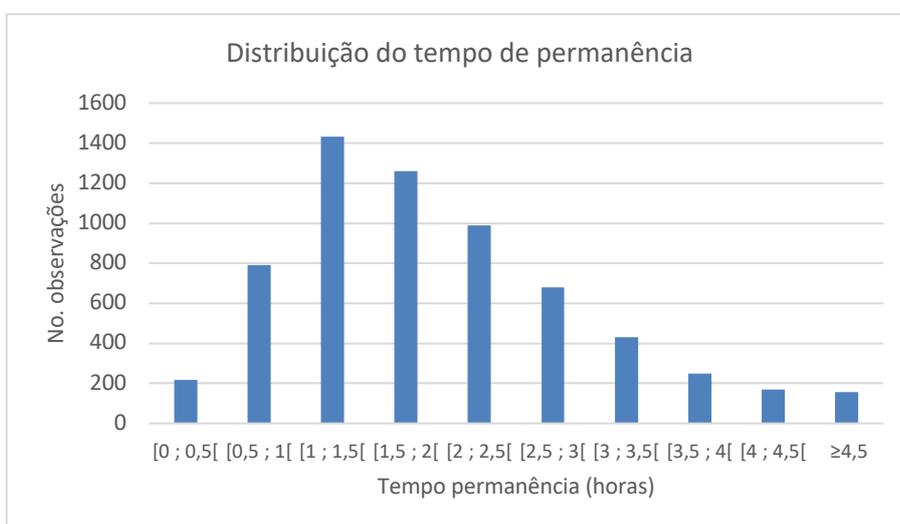


Figura 4.7. Histograma dos tempos de permanência observados nas instalações.

A distribuição do tempo de permanência ao longo do dia também é uma análise importante, já que podemos saber como o sistema se comporta consoante o período horário. O gráfico da figura 4.8 representa a média dos tempos de atendimento consoante o período horário das chegadas.

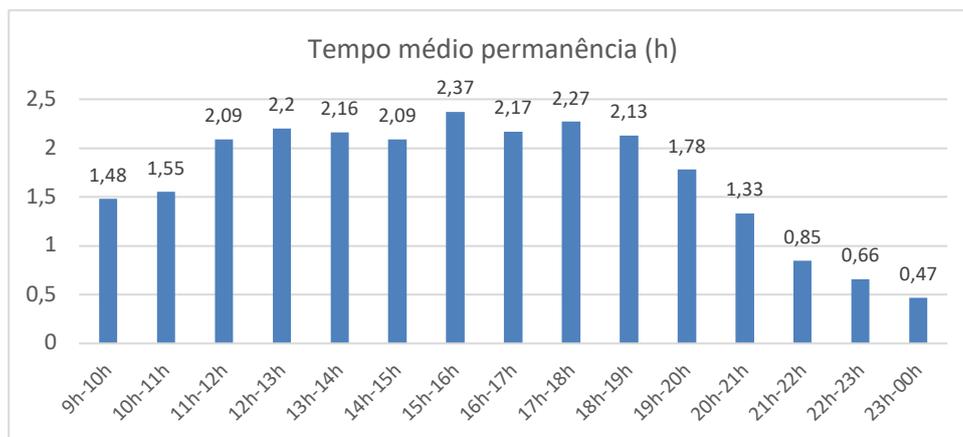


Figura 4.8. Distribuição do tempo médio de permanência ao longo do dia.

O tempo médio de permanência é menor ao início e final do dia, distribuindo-se de forma mais uniforme entre os períodos das 11h às 19h. Note-se que o tempo médio máximo verificado (2,37 horas) corresponde também ao período onde há um máximo nos carregamentos para navio, entre as 15h e as 16h.

4.3.2. Conclusões da análise dos dados

De acordo com os dados recolhidos relativos ao processo de expedição da Celbi, as principais conclusões a reter são:

- Os armazéns possuem períodos de maior procura, onde se verifica um aumento do número de carregamentos.
- O tempo de permanência médio dos camiões TIR nas instalações varia ao longo do dia, possuindo um valor mais elevado nos períodos onde há uma maior procura.

Os períodos de maior procura e, conseqüentemente, maior tempo de atendimento do sistema devem-se sobretudo à falta de planeamento e visibilidade das cargas. O transporte é, na maioria das vezes, organizado pelo cliente. Após realizar uma encomenda, o cliente deve comprometer-se a fazer o transporte da encomenda para as suas instalações. Apesar de haver um procedimento que obriga os clientes a enviarem os seus planos de carga com uma antecedência mínima de 3 dias, a maioria dos clientes não cumpre este procedimento,

chegando, por vezes, a enviar o plano de cargas no próprio dia. O plano de cargas constitui uma ferramenta importante, já que este fornece informações relativas ao horário previsto da chegada do transporte e documentação do veículo.

4.4. Conceptualização e construção do modelo de simulação

Seguindo a estrutura da metodologia, esta secção tem como objetivo a construção e validação do modelo de simulação. Em primeiro lugar, foi construído um modelo conceptual que tem como objetivo representar a configuração do sistema. O modelo conceptual pode ser consultado na figura 4.9.

Para a etapa da tradução do modelo conceptual no modelo de simulação recorreu-se a duas ferramentas: a linguagem R e o *software* de simulação SIMIO.

Em primeiro lugar, a seleção da linguagem R tem como objetivo auxiliar a descrição dos dados, sempre que esta não é possível através do Excel devido às suas limitações. Em particular, a utilização da interface RStudio torna-se útil na utilização desta linguagem, que é especialmente construída para a análise estatística de dados. Além disso, por se tratar de uma ferramenta em *open source*, é de fácil acesso (Mark & Van der Loo, 2012).

Em segundo lugar, a escolha do *software* SIMIO deve-se a facilidade de programação de objetos, sendo bastante intuitiva. Um aspeto-chave do SIMIO que o diferencia de outros *software* de simulação corresponde à sua capacidade de criar um vasto leque de objetos e comportamentos, a partir dos elementos que o constituem. Por esse motivo, pode aplicar-se a qualquer modelação, desde a indústria à saúde (Law, 2015).

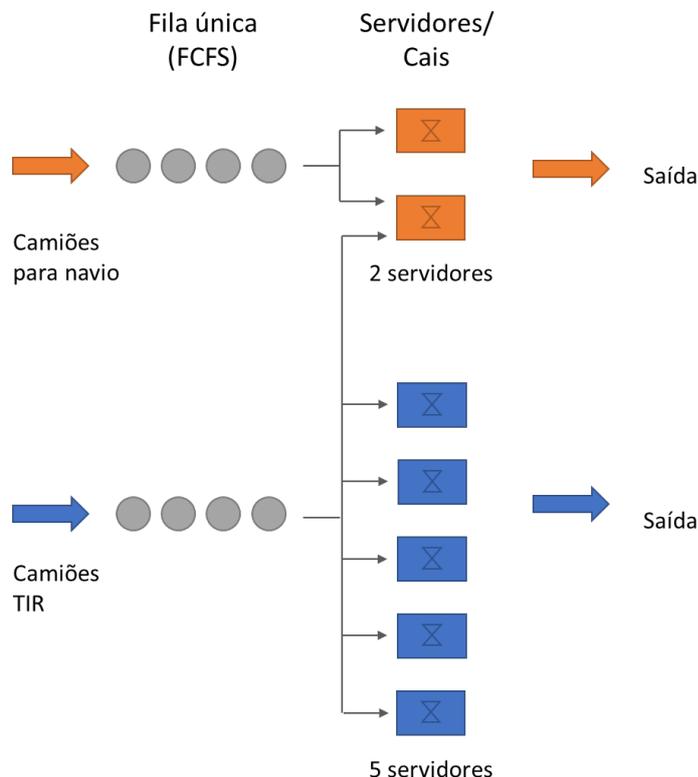


Figura 4.9. Esquema conceptual do sistema de filas de espera do armazém de expedição da Celbi.

O SIMIO usa elementos de construção específicos de forma a representar sistemas de filas de espera. Cada um desses blocos possui um conjunto de atributos que permitem modelar o sistema. Antes de apresentar o modelo desenvolvido no *software*, poderá ser útil definir e descrever de forma sumária esses elementos.

Tabela 4.3. Elementos de construção do SIMIO.

| Elemento | Representação | Descrição |
|----------|---------------|---|
| Source | | Este elemento é responsável por gerar entidades (clientes) no sistema que, neste caso, serão os caminhões. A "source" é caracterizada por um padrão de chegadas que pode seguir uma determinada distribuição estatística. |
| Server | | Corresponde ao elemento que representa o servidor. Processam as entidades que recebem, num determinado período e podem assumir determinadas regras, como FCFS. Neste elemento também o tempo de serviço pode assumir uma distribuição de probabilidade estatística. Neste caso em particular o servidor representa o espaço livre do armazém para a operação de carregamento. |

| | |
|---|--|
| <p>Entity</p>  | <p>A entidade representa o “cliente” do sistema. Entre vários atributos destaca-se a prioridade, que pode ser um número inteiro e que irá definir a lógica de seleção do servidor.</p> |
| <p>Sink</p>  | <p>Este objeto representa o ponto de saída do sistema. Neste caso, corresponde à saída do veículo da unidade fabril.</p> |

Além dos elementos de construção enumerados na tabela 4.3, o SIMIO possui outros objetos relevantes ao desenvolvimento do modelo. Um deles consiste no “connector” que funciona como ligação, por exemplo, entre a fonte e o servidor. Em termos práticos, este objeto representa a rota que o caminhão seguirá desde a portaria, até ao cais de carregamento que lhe é atribuído, com tempo de viagem nulo. Outro objeto importante é a “queue”, ou fila, que pode ser formada à entrada ou saída dos elementos básicos. Este objeto permite, entre outras funções, efetuar a contagem do número de clientes em fila de espera e tempo em espera. Em termos de medidas de performance, o *software* possui uma vasta lista de parâmetros que permitem avaliar a performance do sistema.

De forma a aproximar o sistema à realidade sem tornar o modelo demasiado complexo, foram considerados os seguintes critérios:

- Existem dois tipos de "source". Uma que define as chegadas dos camiões para navio e outra que define as chegadas de camiões TIR.
- Os camiões TIR possuem 5 “servers” que representam os cais de carregamento.
- Os camiões para navio possuem 2 “servers”, que representam o número de camiões carregados simultaneamente.
- De forma a representar a influência do carregamento de camiões para navio na performance global do sistema, considerou-se que um dos “servers” dos camiões para navio é partilhado com os carregamentos TIR, quando não há carregamentos para navio em fila de espera.
- O horário de carregamentos considerado é aquele que vigora de segunda a quinta-feira, isto é, das 8h às 00h.

- Os camiões são servidos de acordo com a política FCFS – *First Come First Served* à exceção do servidor partilhado, onde os camiões para navio têm prioridade absoluta.

A configuração do sistema no SIMIO pode ser consultada no Anexo II. Consultando o anexo, é possível verificar dois tipos de entidades, de acordo com o tipo de carregamento. Também o número e configuração dos servidores estão de acordo com o modelo conceptual.

Após a construção do modelo básico e da sua configuração, os parâmetros do sistema devem ser introduzidos, de forma a programar um modelo que represente a realidade.

Os gráficos e alguns parâmetros necessários para esta etapa são obtidos através do RStudio e linguagem R.

Modelação das chegadas:

O primeiro passo será avaliar se os dados seguem um processo não estacionário de *Poisson*. Tal como referido na secção 3.4 da revisão da literatura, uma análise gráfica da função $A(t)$ indica a possibilidade dessa mesma função seguir um processo não estacionário.

A figura 4.10 representa as curvas das chegadas cumulativas ao longo do dia $[A(t)]$ dos diferentes tipos de veículos que chegam ao armazém.

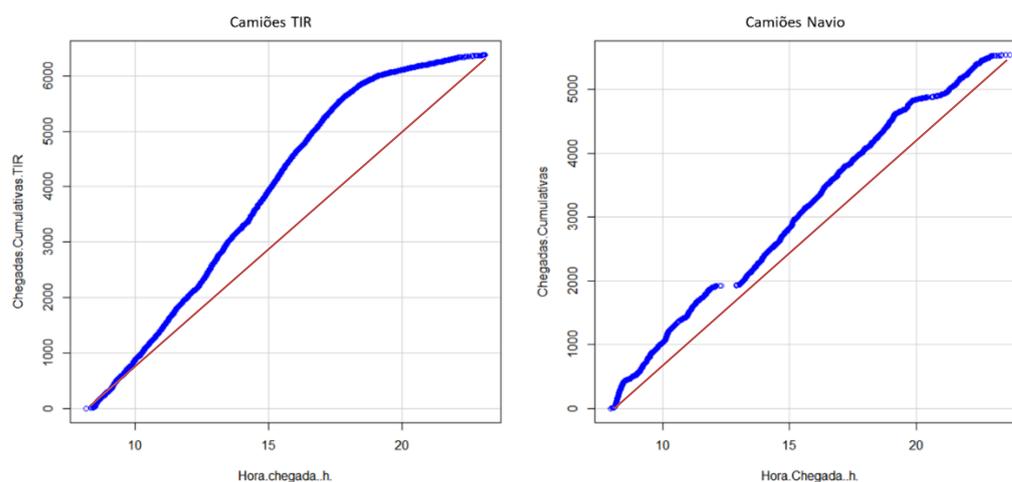


Figura 4.10. Chegadas cumulativas dos camiões TIR e para navio que chegam ao armazém fabril.

Através dos gráficos da figura 4.10 é possível concluir que as chegadas dos camiões TIR e para navio não seguem um processo estacionário. De acordo com Hall (2013), se a distância entre $A(t)$ e a linha reta formada entre os pontos $A(0)$ e $A(T)$ for significativa, onde T corresponde ao tempo total observado, então o processo não é estacionário.

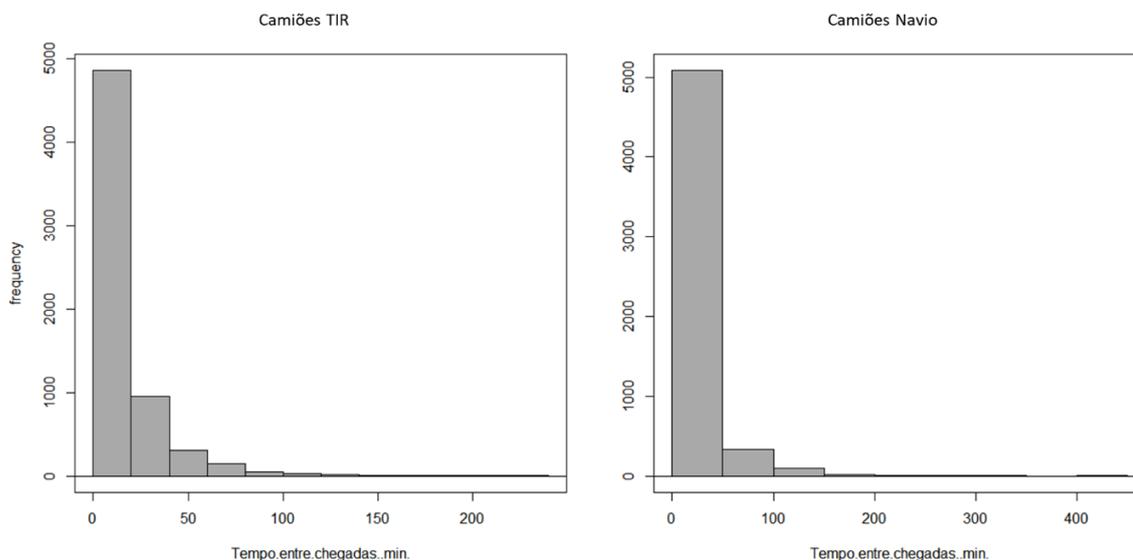


Figura 4.11. Histograma dos tempos entre chegadas em minutos dos carregamentos.

Através dos histogramas da figura 4.11 é possível verificar que existe uma tendência exponencial na distribuição dos tempos entre chegadas, o que comprova que as chegadas ao armazém seguem distribuições de *Poisson*.

A chave para modelar um processo não estacionário de *Poisson* consiste na utilização do número de chegadas por intervalo de tempo, denotadas por “taxas de chegada”. O SIMIO possui uma ferramenta que permite atribuir taxas de chegada que variam com o tempo. Com base na amostra, foi determinada a taxa de chegadas média (eventos/hora) verificada ao longo do dia no armazém de expedição, com os dados relativos aos meses de janeiro a junho de 2019. Os resultados encontram-se na tabela 4.4.

Tabela 4.4. Taxa de chegadas por período horário.

| <i>Hora</i> | <i>Camiões TIR /hora</i> | <i>Camiões Navio /hora</i> |
|-------------|--------------------------|----------------------------|
| 8h-9h | 2,43 | 4,37 |
| 9h-10h | 4,5 | 3,87 |
| 10-11h | 4,48 | 3,56 |
| 11h-12h | 4,7 | 3,26 |
| 12h-13h | 5,05 | 0,3 |
| 13h-14h | 4,78 | 3,62 |
| 14h-15h | 5,25 | 3,48 |
| 15h-16h | 5,35 | 3,48 |
| 16h-17h | 4,54 | 3,56 |
| 17h-18h | 3,97 | 2,84 |
| 18h-19h | 2,35 | 3,44 |
| 19h-20h | 1,05 | 2,61 |
| 20h-21h | 0,84 | 0,64 |
| 21h-22h | 0,84 | 2,44 |
| 22h-23h | 0,43 | 2,39 |
| 23h-24h | 0,04 | 0,1 |

Posteriormente, os dados da tabela 4.4 foram transferidos para as “rate tables” do SIMIO. Foram criadas duas “rate tables”, uma relativa às chegadas dos camiões TIR, e outra relativa às chegadas dos camiões para navio. A informação pode ser consultada na figura 4.12.

| Camiões TIR | | | Camiões Navio | | |
|-----------------|-----------------|------------------------|-----------------|-----------------|------------------------|
| Starting Offset | Ending Offset | Rate (events per hour) | Starting Offset | Ending Offset | Rate (events per hour) |
| Day 1, 00:00:00 | Day 1, 01:00:00 | 2,43 | Day 1, 00:00:00 | Day 1, 01:00:00 | 4,37 |
| Day 1, 01:00:00 | Day 1, 02:00:00 | 4,5 | Day 1, 01:00:00 | Day 1, 02:00:00 | 3,87 |
| Day 1, 02:00:00 | Day 1, 03:00:00 | 4,48 | Day 1, 02:00:00 | Day 1, 03:00:00 | 3,56 |
| Day 1, 03:00:00 | Day 1, 04:00:00 | 4,7 | Day 1, 03:00:00 | Day 1, 04:00:00 | 3,26 |
| Day 1, 04:00:00 | Day 1, 05:00:00 | 5,05 | Day 1, 04:00:00 | Day 1, 05:00:00 | 0,3 |
| Day 1, 05:00:00 | Day 1, 06:00:00 | 4,78 | Day 1, 05:00:00 | Day 1, 06:00:00 | 3,62 |
| Day 1, 06:00:00 | Day 1, 07:00:00 | 5,25 | Day 1, 06:00:00 | Day 1, 07:00:00 | 3,48 |
| Day 1, 07:00:00 | Day 1, 08:00:00 | 5,35 | Day 1, 07:00:00 | Day 1, 08:00:00 | 3,48 |
| Day 1, 08:00:00 | Day 1, 09:00:00 | 4,54 | Day 1, 08:00:00 | Day 1, 09:00:00 | 3,56 |
| Day 1, 09:00:00 | Day 1, 10:00:00 | 3,97 | Day 1, 09:00:00 | Day 1, 10:00:00 | 2,84 |
| Day 1, 10:00:00 | Day 1, 11:00:00 | 2,35 | Day 1, 10:00:00 | Day 1, 11:00:00 | 3,44 |
| Day 1, 11:00:00 | Day 1, 12:00:00 | 1,05 | Day 1, 11:00:00 | Day 1, 12:00:00 | 2,61 |
| Day 1, 12:00:00 | Day 1, 13:00:00 | 0,84 | Day 1, 12:00:00 | Day 1, 13:00:00 | 0,64 |
| Day 1, 13:00:00 | Day 1, 14:00:00 | 0,84 | Day 1, 13:00:00 | Day 1, 14:00:00 | 2,44 |
| Day 1, 14:00:00 | Day 1, 15:00:00 | 0,43 | Day 1, 14:00:00 | Day 1, 15:00:00 | 2,39 |
| Day 1, 15:00:00 | Day 1, 16:00:00 | 0,04 | Day 1, 15:00:00 | Day 1, 16:00:00 | 0,1 |

Figura 4.12. “Rate tables” de cada um dos carregamentos na modelação das chegadas.

Modelação dos tempos de serviço:

O tempo de serviço corresponde ao tempo decorrido desde a atribuição de um cais de carregamento ao veículo, até à sua saída das instalações. Trata-se do “tempo útil”, já que o restante corresponde ao tempo de espera.

Na base de dados recolhida não existe qualquer registo da hora de início de carregamento e expedição dos camiões para navio. Por esse motivo foram registados, através de observação no local e cronometragem do tempo, os valores relativos aos tempos de carregamento para este tipo de transporte.

Os carregamentos de camiões TIR possuem registos da hora à qual lhes foi atribuído um local de carregamento, o que permitiria, teoricamente, estimar os tempos de carregamento. Contudo, estes valores não são fiáveis, uma vez que a atribuição de cais nem sempre coincide com o início do carregamento. Por isso, tal como no caso anterior, foram também registados os tempos de carregamento através de observação no local e cronometragem do tempo.

Os tempos de carregamento observados para ambos os tipos de transporte encontram-se registados na tabela 4.5.

Tabela 4.5. Tempos de serviço observados em minutos.

| <i>Observação</i> | <i>t serviço Navio (min)</i> | <i>t serviço TIR (min)</i> |
|-------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| 1 | 12,78 | 97,87 |
| 2 | 13,33 | 54,58 |
| 3 | 14,07 | 47,33 |
| 4 | 14,52 | 78,10 |
| 5 | 14,93 | 34,50 |
| 6 | 15,48 | 62,15 |
| 7 | 15,93 | 62,17 |
| 8 | 10,83 | 37,75 |
| 9 | 11,20 | 32,30 |
| 10 | 11,62 | 57,95 |
| 11 | 11,97 | 57,80 |
| 12 | 24,50 | 56,80 |
| 13 | 11,00 | 60,75 |
| 14 | 25,93 | 63,27 |
| 15 | 26,50 | 63,22 |
| 16 | 26,95 | 81,98 |
| 17 | 27,45 | 47,55 |
| 18 | 27,92 | 47,33 |
| 19 | 28,45 | 70,17 |

De acordo com Law (2015), sempre que não existam dados suficientes que permitam realizar testes de ajustamento estatístico, recomenda-se a utilização de uma distribuição triangular como estimativa. A distribuição triangular possui três parâmetros que a definem (a, m, b) , sendo a e b os valores mínimo e máximo observados na amostra e m o valor médio.

Por existir um número reduzido de observações, optou-se por atribuir uma distribuição triangular de parâmetros mínimo, média e máximo aos tempos de serviço de cada um dos tipos de camiões.

A partir da amostra da tabela 4.5 é possível determinar os parâmetros mínimo, média e máximo que vão caracterizar a distribuição triangular de cada um dos tempos de serviço. Os valores, encontram-se na tabela 4.6.

Tabela 4.6. Tempos de serviço observados em minutos.

| T serviço navio | | | T serviço TIR | | |
|------------------------|-------|--------|----------------------|-------|--------|
| Mínimo | Média | Máximo | Mínimo | Média | Máximo |
| 10,83 | 18,18 | 28,45 | 32,30 | 58,61 | 97,87 |

A tabela 4.7 resume os principais parâmetros usados na modelação dos diferentes objetos que compõem o sistema.

Tabela 4.7. Os diferentes objetos utilizados na simulação e respetivas propriedades.

| <i>Tipo objeto</i> | <i>Nome objeto</i> | <i>Propriedades</i> |
|--------------------|--------------------|--|
| <i>Fonte</i> | Camioes_Navio | <u>Tempo entre chegadas</u> : Variável aleatória exponencial de parâmetro variável com o tempo. Parâmetro dado pela tabela “rate_navio” |
| | Camioes_TIR | <u>Tempo entre chegadas</u> : Variável aleatória exponencial de parâmetro variável com o tempo. Parâmetro dado pela tabela “rate_TIR” |
| <i>Entidade</i> | Cam_Navio | <u>Prioridade</u> : 1 |
| | Cam_TIR | <u>Prioridade</u> : 2 |
| <i>Servidor</i> | Navio_1 | <u>Tempo de serviço</u> : variável aleatória com distribuição triangular de parâmetros (10.83, 18.18, 28.45) |
| | Navio_2 | <u>Tempo de serviço</u> : Variável aleatória com distribuição triangular de parâmetros: <ol style="list-style-type: none"> 1. (10.83, 18.18, 28.45) se a entidade for Cam_navio 2. (31.9, 58.61, 97.87) se a entidade for Cam_TIR |
| | Cais_1 a Cais_5 | <u>Tempo de serviço</u> : Variável aleatória com distribuição triangular de parâmetros (31.9, 58.61, 97.87) |

4.4.1. Validação do modelo

A validação do modelo consiste numa etapa importante de um estudo de simulação. Através da validação é possível conferir credibilidade e legitimidade dos dados que provenham da simulação.

Condições de simulação:

Antes de validar o modelo, é necessário estabelecer as principais condições em que a simulação será executada tais como o período em análise, as unidades consideradas (minutos, horas), o número de replicações e o grau de confiança utilizado.

Definiu-se que a simulação terá como objetivo replicar um dia de trabalho nos armazéns da expedição, começando às 8h e terminando às 00h, tendo 16 horas de duração.

O número de replicações definidas para a simulação foi de 200, com um grau de confiança de 95%

Validação do modelo:

De forma a validar o sistema, foi selecionada a variável “tempo no sistema”, que corresponde ao tempo que decorre desde a entrada do camião nas instalações até à sua saída. A escolha desta variável deve-se à possibilidade de comparação com a amostra, já que possuímos valores associados a cada registo nos camiões TIR.

De forma a ter uma base comparativa para o modelo de simulação, os valores médio, máximo e mínimo do “tempo no sistema” dos camiões TIR foram determinados a partir dos dados recolhidos previamente na secção 4.3. Os valores da amostra encontram-se representados na tabela 4.8.

Tabela 4.8. Parâmetros determinados a partir da amostra dos tempos no sistema dos camiões TIR.

| Tempo no sistema – camiões TIR (h) | |
|------------------------------------|-------|
| Mínimo | 0.2 |
| Média | 1.998 |
| Máximo | 9.01 |

Depois de correr o modelo de simulação nas condições enunciadas anteriormente, foi possível obter da simulação os valores relativos ao tempo no sistema dos camiões TIR. Os valores obtidos na simulação encontram-se na tabela 4.9, onde também se encontram os valores da amostra, para que seja mais fácil a sua comparação.

Tabela 4.9. Resultados obtidos para a variável tempo no sistema dos camiões TIR (h).

| | Tempo no sistema – Camiões TIR (h) | | | |
|--------|------------------------------------|-----------------------|-----------------|-----------------------|
| | Amostra | Limite inferior (95%) | Resultado Médio | Limite superior (95%) |
| Máximo | 9,01 | 2,50 | 5,13 | 9,01 |
| Média | 1,998 | 1,24 | 2,02 | 3,10 |
| Mínimo | 0,2 | 0,55 | 0,89 | 0,89 |
| | Amostra | Modelo de simulação | | |

O SIMIO calcula, por definição, uma média para cada parâmetro de acordo com um determinado grau de confiança. Cada valor calculado é associado a um intervalo de confiança com limites superior e inferior.

Optou-se na configuração do modelo de simulação por utilizar um grau de confiança de 95%. Os limites inferior e superior do intervalo de confiança gerado para os valores máximo, média e mínimo do tempo no sistema podem ser consultados na tabela 4.9.

Em relação ao valor máximo determinado na amostra (9,01h), verifica-se que este é igual ao valor máximo obtido no limite superior do intervalo de confiança. Isto significa que, ao nível de 95% o valor obtido na simulação representa a amostra. Quanto à média, verifica-se que o valor obtido da amostra é muito semelhante ao obtido no resultado médio. O valor mínimo da amostra é o que se encontra com maior desvio do limite inferior, contudo como se verificou que os valores médio e máximo para o tempo no sistema calculados pelo SIMIO pertencem à amostra com um grau de confiança de 95%, pode assumir-se que o modelo possui validade quanto a este parâmetro.

A tabela 4.10 apresenta os valores médios do número de camiões para navio e TIR por dia. Ao compararmos a amostra com o modelo de simulação, verificamos que os valores são muito semelhantes, o que constitui em mais um indício de que o modelo possui validade.

Tabela 4.10. Resultados obtidos para a variável tempo no sistema dos camiões TIR (h).

| | Média Amostra | Média Simulação |
|------------------------|---------------|-----------------|
| Nº camiões navio (dia) | 42,17 | 43,78 |
| Nº camiões TIR (dia) | 50,99 | 49,74 |

Uma outra forma de comprovar a validade do modelo consiste na observação das curvas $A(t)$ produzidas pela simulação e compará-las com a amostra. A figura 4.13 agrupa os quatro gráficos que representam $A(t)$ para os camiões TIR e para navio. Quando comparadas as curvas produzidas pelo modelo de simulação e as da amostra, podemos verificar que seguem um comportamento muito idêntico, o que é indicativo de que o modelo seja válido.

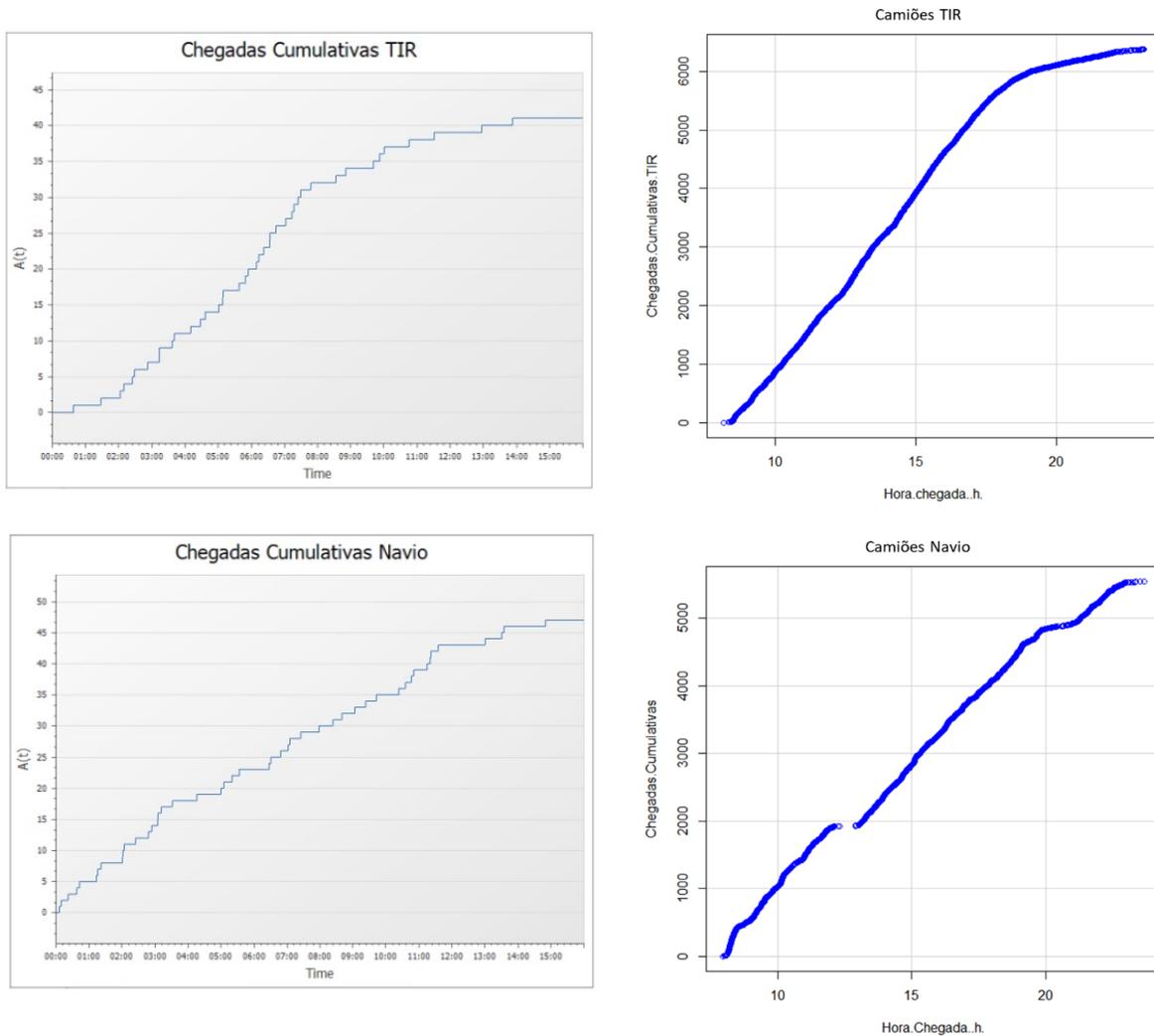


Figura 4.13. Curva $A(t)$ obtida através de simulação (à esquerda) e através da amostra (à direita).

Dada a validade dos valores obtidos na simulação para o tempo no sistema dos camiões TIR, o número de chegadas de camiões por dia às instalações e à análise gráfica das curvas $A(t)$, pode concluir-se que o modelo é válido.

4.5. Conclusões

As primeiras etapas da metodologia definida no capítulo 4 foram alcançadas neste capítulo. O mesmo teve como objetivo suportar e validar a construção do modelo de simulação. Com base nos dados obtidos, foi possível validar o modelo, pelo que este constitui uma fonte confiável de informação. A partir da análise de cenários, o modelo irá

produzir resultados confiáveis, que poderão sustentar futuras tomadas de decisão no contexto do processo de expedição da Celbi.

5. ANÁLISE DE CENÁRIOS

A análise de cenários corresponde a uma das últimas etapas de um estudo de simulação. O objetivo é introduzir mudanças na configuração do sistema, de forma a avaliar a viabilidade da sua implementação no contexto prático. Um dos objetivos principais para a melhoria da performance do processo de expedição da Celbi consiste na redução do tempo de espera. Ao longo deste capítulo são avaliados três cenários, de forma a determinar as melhorias ou limitações de cada um. Além da análise dos indicadores de performance, serão enunciadas as vantagens e desvantagens associadas à implementação de cada cenário. Por fim, com base nos resultados obtidos, será realizada uma comparação entre os vários cenários, de forma a avaliar qual deles é o mais vantajoso para a empresa.

5.1. Cenário A – Implementação de janelas horárias

Uma das soluções indicadas na revisão bibliográfica para lidar com problemas de congestionamento consiste na criação de janelas horárias. O cenário A tem como objetivo avaliar o comportamento do sistema nestas condições. Uma vez que não pode ser exercida nenhuma influência nos camiões para navio, a criação destas janelas será aplicada apenas às chegadas dos camiões TIR.

Em primeiro lugar, é necessário estimar a capacidade teórica do sistema por hora. Atendendo aos tempos de serviço, a média de cada servidor corresponde a 58,06 minutos/carregamento. Considerando os 5 servidores disponíveis para carregamentos TIR, então a capacidade teórica máxima do sistema é de 5 carregamentos/hora, o que equivale a 80 carregamentos/dia. Deve considerar-se, por isso, um número máximo de 5 carregamentos agendados para cada hora.

No entanto, a Celbi recebe em média 50,83 camiões/dia (3,17camiões/hora) e é para essa média que irá ser testado o cenário A.

Para colocar em prática esta alteração no modelo, a tabela “rate table” relativa às chegadas dos camiões TIR deverá ser atualizada para uma taxa constante igual a 3,17 camiões/hora.

Após a modelação do sistema com os novos parâmetros e foram obtidos os resultados da tabela 5.1, para um grau de confiança de 95%.

Tabela 5.1. Comparação dos indicadores de performance da situação atual com o cenário A e respetiva variação.

| | Indicador: | Situação Atual | | | Cenário A | | | Variação | | |
|----------------------|--------------------------|----------------|------|------|-----------|------|------|----------|------|------|
| | | Mín. | Méd. | Máx. | Mín. | Méd. | Máx. | Mín. | Méd. | Máx. |
| <i>Transporte</i> | Tempo no sistema (horas) | 0,68 | 2,08 | 5,48 | 0,65 | 1,57 | 3,91 | -4% | -25% | -29% |
| <i>Camiões TIR</i> | Comprimento fila | - | 3,6 | 9,97 | - | 1,95 | 6,01 | | -47% | -40% |
| | Tempo espera (horas) | - | 1,09 | 4,6 | - | 0,57 | 3,02 | | -48% | -34% |
| <i>Camiões Navio</i> | Tempo no sistema (horas) | 0,22 | 0,63 | 1,56 | 0,22 | 0,59 | 1,49 | 0% | -6% | -4% |
| | Comprimento fila | - | 0,86 | 4,6 | - | 0,77 | 4,57 | | -10% | -1% |
| | Tempo espera (horas) | - | 0,3 | 1,24 | - | 0,27 | 1,17 | | -10% | -6% |

Com este cenário consegue-se uma redução significativa em todos os indicadores. A redução mais significativa verifica-se no comprimento e tempo de espera médio dos camiões TIR. Com este cenário, a empresa conseguiria reduzir os tempos de espera em 47%, conseguindo reduzir o tempo médio de espera de 1,09 horas para apenas 0,57 horas.

A implementação de janelas horárias com uma capacidade máxima de 4 camiões por hora consiste numa ferramenta prática e económica de melhorar a performance do processo de expedição. Contudo, associam-se à sua implementação algumas desvantagens. A principal dificuldade está relacionada com a taxa de adesão a esta medida. A medida só se irá revelar eficaz caso os clientes informem atempadamente o seu plano de chegadas. Esta adesão pode ser aumentada com a criação de incentivos sob a forma de descontos. Seria necessária a criação de uma plataforma com uma base de dados que permitissem que os clientes agendassem as suas chegadas.

As vantagens e desvantagens associadas à implementação deste cenário são enumeradas de seguida.

Vantagens

- Medida económica que produz melhorias significativas na performance do processo de expedição.
- A limitação do número de carregamentos por período horário pode ser ajustada consoante a necessidade.
- Permite ter uma visibilidade ótima das chegadas.
- A adesão dos clientes poderia ser incentivada com descontos ou outras vantagens.

Desvantagens

- O sucesso da medida depende da adesão por parte dos clientes.
- É necessário criar uma base de dados que permita aos clientes escolher o período de carregamento, o que requer algum investimento.

5.2. Cenário B – Introdução de um servidor

Neste cenário testa-se a possibilidade de adicionar mais um cais de carregamento no período de maior procura, que corresponde das 9h às 18h. Na elaboração deste cenário foi acrescentado um servidor aos camiões TIR. Este servidor foi modelado de forma a trabalhar apenas no período das 9h às 18h. Em termos práticos, este servidor representa a adição de um colaborador extra e um espaço adicional para o carregamento. A nova configuração do sistema encontra-se representada no Anexo III.

Os resultados obtidos a partir do modelo de simulação, introduzindo a nova configuração e com um grau de confiança de 95,% podem ser comparados com a situação atual na tabela 5.2.

Tabela 5.2. Comparação dos indicadores de performance da situação atual com o cenário B e respetiva variação.

| | Indicador: | Situação Atual | | | Cenário B | | | Variação | | |
|----------------------|--------------------------|----------------|------|------|-----------|------|------|----------|------|------|
| | | Mín. | Méd. | Máx. | Mín. | Méd. | Máx. | Mín. | Méd. | Máx. |
| Transporte | Tempo no sistema (horas) | 0,68 | 2,08 | 5,48 | 0,67 | 1,89 | 5,27 | -1% | -9% | -4% |
| Camiões TIR | Comprimento fila | - | 3,6 | 9,97 | - | 3,12 | 8,85 | | -15% | -11% |
| | Tempo espera (horas) | - | 1,09 | 4,6 | - | 0,9 | 4,36 | | -17% | -4% |
| Camiões Navio | Tempo no sistema (horas) | 0,22 | 0,63 | 1,56 | 0,22 | 0,61 | 1,52 | 0% | -3% | -3% |
| | Comprimento fila | - | 0,86 | 4,6 | - | 0,83 | 4,56 | | -3% | -1% |
| | Tempo espera (horas) | - | 0,3 | 1,24 | - | 0,29 | 1,19 | | -3% | -4% |

Verifica-se neste cenário uma redução de todos indicadores analisados. A maior redução verificada diz respeito tempo médio de espera dos camiões TIR, onde há um decréscimo em 17%. Com este cenário, a Celbi conseguiria diminuir o tempo médio de espera de 1.09 horas para 0.9 horas.

A implementação deste cenário possui algumas limitações. Em primeiro lugar, a criação de um servidor adicional levanta questões quanto à disponibilidade de espaço físico nas instalações para acomodar um novo local de carregamento. Em segundo lugar, a movimentação de um funcionário adicional pode levar ao congestionamento dos trabalhadores que se movimentam no interior dos armazéns, já que o espaço é limitado. Por último, a criação de um novo posto de trabalho requer um investimento por parte da empresa que pode não ser compensado pelas melhorias de performance que se verificam no modelo de simulação.

Um quadro resumo com as vantagens e desvantagens associadas à implementação deste cenário encontram-se enumeradas de seguida.

Vantagens

- Há uma ligeira melhoria da performance do sistema.
- Medida de fácil implementação com recurso a empresas de trabalho temporário.

Desvantagens

- A acomodação de um local adicional de carregamento está limitada ao espaço físico disponível nas instalações.
- A circulação de um maior número de veículos nas instalações pode gerar acidentes.
- A introdução de um funcionário adicional pode levar a um congestionamento das movimentações no interior do armazém, que possui corredores estreitos.
- É necessário investimento que pode não ser compensado pelas melhorias produzidas.

5.3. Cenário C – Introdução de janelas horárias num período específico

Neste cenário o que se pretende avaliar é a combinação das janelas horárias com o período onde se verifica um maior número de chegadas. Assim, atribui-se um limite de dois carregamentos por hora no período das 9h às 18h, sendo que nas restantes horas não existe restrição do número de veículos. Uma vez que o número de chegadas de camiões TIR às instalações por dia é de 50,8 camiões, se restringirmos as chegadas ao sistema das 9h às 18h para duas chegadas por hora, isso significa que os restantes períodos devem receber, em média, 4,68 camiões por hora.

De forma a representar este cenário na modelação do sistema foi atualizada a “rate table” referente às chegadas dos camiões TIR. A tabela atualizada pode ser consultada na figura 5.2.

| Starting Offset | Ending Offset | Rate (events per hour) |
|-----------------|-----------------|------------------------|
| Day 1, 00:00:00 | Day 1, 01:00:00 | 4,68 |
| Day 1, 01:00:00 | Day 1, 02:00:00 | 2 |
| Day 1, 02:00:00 | Day 1, 03:00:00 | 2 |
| Day 1, 03:00:00 | Day 1, 04:00:00 | 2 |
| Day 1, 04:00:00 | Day 1, 05:00:00 | 2 |
| Day 1, 05:00:00 | Day 1, 06:00:00 | 2 |
| Day 1, 06:00:00 | Day 1, 07:00:00 | 2 |
| Day 1, 07:00:00 | Day 1, 08:00:00 | 2 |
| Day 1, 08:00:00 | Day 1, 09:00:00 | 2 |
| Day 1, 09:00:00 | Day 1, 10:00:00 | 4,68 |
| Day 1, 10:00:00 | Day 1, 11:00:00 | 4,68 |
| Day 1, 11:00:00 | Day 1, 12:00:00 | 4,68 |
| Day 1, 12:00:00 | Day 1, 13:00:00 | 4,68 |
| Day 1, 13:00:00 | Day 1, 14:00:00 | 4,68 |
| Day 1, 14:00:00 | Day 1, 15:00:00 | 4,68 |
| Day 1, 15:00:00 | Day 1, 16:00:00 | 4,68 |

Figura 5.1. Configuração da nova “rate table”.

Tabela 5.3. Comparação dos indicadores de performance da situação atual com o cenário B e respetiva variação.

| | Indicador: | Situação Atual | | | Cenário C | | | Variação | | |
|----------------------|--|----------------|------|------|-----------|------|------|----------|------|------|
| | | Mín. | Méd. | Máx. | Mín. | Méd. | Máx. | Mín. | Méd. | Máx. |
| <i>Transporte</i> | Tempo no sistema (horas) | 0,68 | 2,08 | 5,48 | 0,66 | 1,45 | 3,56 | -3% | -30% | -35% |
| | <i>Camiões TIR</i> Comprimento fila | - | 3,6 | 9,97 | - | 1,83 | 7,73 | | -50% | -22% |
| | Tempo espera (horas) | - | 1,09 | 4,6 | - | 0,5 | 2,79 | | -54% | -39% |
| <i>Camiões Navio</i> | Tempo no sistema (horas) | 0,22 | 0,63 | 1,56 | 0,22 | 0,58 | 1,48 | 0% | -8% | -5% |
| | Comprimento fila | - | 0,86 | 4,6 | - | 0,73 | 4,36 | | -15% | -5% |
| | Tempo espera (horas) | - | 0,3 | 1,24 | - | 0,26 | 1,16 | | -13% | -6% |

Com este cenário é possível reduzir todos os indicadores de forma significativa. O indicador que apresenta uma maior redução corresponde ao tempo de espera dos camiões

TIR, com um decréscimo de 54%. Isto representa uma redução do tempo médio de espera de 1,09 horas para apenas 0,5 horas.

A implementação deste cenário possui as mesmas limitações do cenário A e limitações adicionais. Às dificuldades apresentadas no cenário A, relativas à taxa de adesão por parte dos clientes, junta-se a questão de algumas empresas terem serviços de receção de mercadoria e expedição no turno da manhã, das 8h às 16h. Ou seja, limitando a capacidade do sistema apenas para 2 carregamentos por hora, poderíamos estar a aumentar indiretamente a ineficiência do processo de expedição, já que essas empresas iriam ter menos oportunidades de realizarem os seus carregamentos. Por outro lado, a taxa variável iria ser de implementação mais difícil numa base de dados, uma vez que iria exigir cálculos mais complexos para determinar a capacidade fixada nos restantes períodos, o que poderia originar erros.

As vantagens e desvantagem associadas à implementação desta medida são:

Vantagens

- Há uma melhoria significativa da performance do sistema.
- Permite ter uma visibilidade ótima das chegadas.
- A adesão dos clientes poderia ser incentivada com descontos ou outras vantagens.

Desvantagens

- Medida de implementação mais complexa, uma vez que a taxa de chegadas por hora não é fixada nos restantes horários.
- Algumas empresas possuem serviços de receção de mercadoria nos horários onde a capacidade do sistema é de apenas 2 camiões por hora.
- Implementação que exige uma base de dados mais complexa, com maior nível de programação e, por esse motivo, mais dispendiosa.

5.4. Comparação entre os cenários

A presente secção tem como finalidade a comparação entre os cenários. A tabela 5.4 representa a variação obtida em cada cenário para os indicadores de performance do sistema.

Através da análise dos diferentes cenários e, por comparação, chega-se à conclusão de que o melhor cenário é o C, onde os carregamentos TIR possuem uma janela horária com capacidade de 2 camiões por hora, no período das 9h às 18h. O segundo melhor cenário é o A, onde também é implementado o sistema de janela horária, no entanto este cenário assume uma taxa de chegadas dos camiões TIR constante ao longo do dia.

Tabela 5.4. Comparação dos indicadores de performance da situação atual com o cenário B e respetiva variação.

| Indicador | Cenário A | | Cenário B | | Cenário C | |
|---------------------------------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|
| | Média | Máximo | Média | Máximo | Média | Máximo |
| Tempo no sistema (horas) | -25% | -29% | -9% | -4% | -30% | -35% |
| Comprimento fila | -47% | -40% | -15% | -11% | -50% | -22% |
| Tempo espera (horas) | -48% | -34% | -17% | -4% | -54% | -39% |
| Tempo no sistema (horas) | -6% | -4% | -3% | -3% | -8% | -5% |
| Comprimento fila | -10% | -1% | -3% | -1% | -15% | -5% |
| Tempo espera (horas) | -10% | -6% | -3% | -4% | -13% | -6% |

O facto de o melhor cenário ser o C deve-se sobretudo à diminuição do número de carregamentos de camiões TIR no período onde também se verifica um maior número de carregamentos para navio. Uma vez que os camiões para navio não podem ser agendados devido às características do transporte marítimo, uma redução da pressão sobre o sistema de expedição quando se verificam este tipo de carregamentos possui efeitos benéficos na performance global do sistema.

Contudo, o cenário C possui várias limitações e as suas desvantagens são superiores às vantagens, principalmente por ser uma medida mais complexa de implementar, o que pode constituir uma barreira. Por outro lado, o cenário A é o que possui maiores vantagens, das quais se destacam a facilidade de implementação e o facto de ser uma medida económica que produz melhorias muito significativas na performance do processo de expedição.

5.5. Conclusões

A análise de cenários permitiu avaliar com base nos indicadores de performance do processo de expedição o melhor cenário em termos do aumento destes indicadores. Por outro lado, as vantagens e desvantagens associadas à implementação de cada cenário colocam em causa a implementação do cenário C devido à maior complexidade quando comparado com o segundo melhor cenário em termos de performance. Como resultado, conclui-se que o cenário ideal que conduz a uma melhoria dos indicadores de performance do processo de expedição é o A. De acordo com este cenário, a sua implementação levaria a uma redução de 48% do tempo de espera médio dos camiões TIR e uma redução de 47% do comprimento médio da fila dos camiões TIR.

6. CONCLUSÃO

A Celbi e o grupo Altri são empresas que investem muito na melhoria contínua dos seus processos produtivos. A importância que o processo de expedição representa na cadeia de abastecimento faz com que esta seja uma área crítica para a continuidade do sucesso da Celbi.

A análise do processo de expedição revelou algumas limitações ao nível do planeamento de cargas. A falta de visibilidade sobre os carregamentos dos clientes domésticos faz com que este processo possua uma variabilidade significativa. Uma vez que não existe qualquer tipo de incentivo ao cumprimento do procedimento de aviso prévio das cargas por parte dos clientes, faz com que estes descurem esta responsabilidade. A consequência do incumprimento desde procedimento leva a que os camiões cheguem, por vezes, todos à mesma hora, sobrecarregando o sistema.

O modelo de simulação desenvolvido tem como objetivo a análise de três cenários. Foi determinado, a partir da análise desses cenários e das vantagens e desvantagens associadas à sua implementação que o cenário mais vantajoso consiste na atribuição de janelas horárias com um limite máximo de 4 camiões por hora.

Como proposta de melhoria ao sistema de expedição da Celbi, recomendam-se as seguintes medidas:

- Implementação de um sistema de agendamento dos carregamentos constituído por uma base de dados na qual os clientes consigam fazer marcações.
- Criação de incentivos para o cumprimento dos agendamentos programados (descontos, outras vantagens).
- Ajustar o número máximo de carregamentos por hora sempre que as condições do sistema o exijam.

Devido à curta duração do estágio nas instalações, não foi possível avaliar a implementação das medidas anteriores. Contudo, aconselha-se que a empresa reavalie o seu

processo, sobretudo em relação à visibilidade e planeamento das chegadas, que constitui o ponto mais crítico do mesmo.

Espera-se que o presente estudo seja de utilidade para a Celbi e a ajude a compreender melhor o seu processo de expedição bem como as suas limitações, de forma a levar à redução do tempo de espera e custos associados ao mesmo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alicke, K., & Lösch, M. (2010). Lean and mean: How does your supply chain shape up? In *McKinsey & Company*.

Altri. (2019a). Relatório de Sustentabilidade 2019. Acedido a 20 de março de 2020, em: <https://www.mediacapital.pt/p/11260/relatório-de-sustentabilidade-2019/>

Altri. (2019b). Relatório e contas 2019. Acedido a 21 de março de 2020, em: http://www.altri.pt/~media/Files/A/Altri-V2/reports-and-presentations/reports/portuguese/2019/Altri_AGM_2019_PT_FHD.pdf

Alves, A. M., Pereira, J. S., & Silva, J. M. N. (2007). O Eucaliptal em Portugal: Impactes Ambientais e Investigação Científica.

Andelković, A., Radosavljević, M., & Panić, D. S. (2016). Effects of Lean Tools in Achieving Lean Warehousing. *Economic Themes*, 54(4), 517–534. <https://doi.org/10.1515/ethemes-2016-0026>

Armstrong & Associates (2017). Global and regional infrastructure, logistics costs, and third-party logistics market trends and analysis.

Azab, A., & Eltawil, A. (2016). A simulation based study of the effect of truck arrival patterns on truck turn time in container terminals. *30th European Conference on Modeling and Simulation*. <https://doi.org/10.7148/2016-0080>

Baker, P. (2007). An exploratory framework of the role of inventory and warehousing in international supply chains. *The International Journal of Logistics Management*, 18(1), 64–80. <https://doi.org/10.1108/09574090710748171>

Ballou, R. H. (1992). *Business logistics management* (4th ed.). Pearson.

Ballou, R. H. (2007). The evolution and future of logistics and supply chain management. *European Business Review*, 19(4), 332–348. <https://doi.org/10.1108/09555340710760152>

Banks, J., Carson, J. S., Nelson, B., & Nicol, D. (2005). *Discrete-Event System Simulation* (4th ed.). Pearson.

Carlsson, D., D'Amours, S., Martel, A., & Rönnqvist, M. (2009). Supply chain planning models in the pulp and paper industry. *INFOR Journal*, 47(3), 167–183. <https://doi.org/10.3138/infor.47.3.167>

Celbi. (2018a). Declaração ambiental 2018. Acedido a 30 de março de 2020, em: <http://www.celbi.pt/documentos/8455Catalogo-Celbi2019-PT-web-v2.pdf>

Celbi. (2018b). Relatório e Contas 2018. Acedido a 1 de abril de 2020, em: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Celpa - Associação da Indústria Papeleira. (2018). Boletim Estatístico. Acedido a 9 de março de 2020, em: http://www.celpa.pt/wp-content/uploads/2016/09/Boletim_WEB_2015.pdf

Chen, G., Govindan, K., & Yang, Z. (2013). Managing truck arrivals with time windows to alleviate gate congestion at container terminals. *International Journal of Production Economics*, 141(1), 179–188. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.03.033>

Cooper, M. C., Lambert, D. M., & Pagh, J. D. (1997). Supply Chain Management: More Than a New Name for Logistics. *The International Journal of Logistics Management*, 8(1), 1–14.

Croxton, K. L., Garcia-Dastugue, S. J., Lambert, D. M., & Rogers, D. S. (2006). The Supply Chain Management Processes. *The International Journal of Logistics Management*, 12(2), 13–36.

CSCMP. (2013). Supply Chain Management Terms and Glossary.

Ek, M., Gellerstedt, G., & Henriksson, G. (2009). Pulp and Paper Chemistry and Technology (Vol. 2). De Gruyter.

Frazelle, E. (2016). World-Class warehouse and material handling (2nd ed.). McGraw-Hill.

Frazelle, E., York, N., San, C., Lisbon, F., Madrid, L., City, M., New, M., San, D., Singapore, J. S., & Toronto, S. (2002). Supply Chain Strategy: The Logistics of Supply Chain Management McGraw-Hill.

Gammelgaard, B., & Larson, P. (2001). Logistics skills and competencies for supply chain management. *Journal of Business Logistics*, 22(1), 27–50.

- Garver, M. S., Williams, Z., & Lemay, S. A. (2010). Measuring the importance of attributes in logistics research. *International Journal of Logistics Management*, 21(1), 22–44. <https://doi.org/10.1108/09574091011042160>
- Gaspar, A. F. J. (2014). *Pelos caminhos da indústria do Papel: uma abordagem histórico- geográfica*. Universidade de Coimbra.
- Gu, J., Goetschalckx, M., & McGinnis, L. F. (2007). Research on warehouse operation: A comprehensive review. *European Journal of Operational Research*, 177(1), 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.02.025>
- Guan, C. Q., & Liu, R. (2009). Modeling gate congestion of marine container terminals, truck waiting cost, and optimization. *Transportation Research Record*, 210, 58–67. <https://doi.org/10.3141/2100-07>
- Hall, R. (1990). *Queueing methods for services and manufacturing*. Prentice Hall.
- Hosseinpour, F., & Hajihosseini, H. (2009). Importance of Simulation in Manufacturing. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 51(3), 292–295.
- Korhonen, J., Pätäri, S., Toppinen, A., & Tuppara, A. (2015). The role of environmental regulation in the future competitiveness of the pulp and paper industry: The case of the sulfur emissions directive in Northern Europe. *Journal of Cleaner Production*, 108, 864–872. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.06.003>
- Langley, C. J. J., & Holcomb, M. C. (1992). Creating Logistics Customer Value. *Journal of Business Logistics*, 13(2), 1–26.
- Larson, P., & Halldorsson, A. (2004). Logistics versus supply chain management: An international survey. *International Journal of Logistics: Research and Applications*, 7(1), 17–31. <https://doi.org/10.1080/13675560310001619240>
- Law, A. (2015). *Simulation Modeling and Analysis* (5th ed.). McGraw-Hill.
- Litman, T. (2013). The new transportation planning paradigm. *ITE Journal (Institute of Transportation Engineers)*, 83(6), 20–28.
- Lynch, D., Keller, S., & Ozment, J. (2000). The Effects of Logistics Capabilities and Strategy on Firm Performance, *Journal of Business Logistics* 21(2), 47–68.

- Maltz, A., & Dehoratius, N. (2004). Warehousing : The Evolution Continues. *Warehousing Education and Research Council*.
- Maria, A. (1997). Introduction to Modeling and Simulation. *Proceedings of the 29th conference on Winter simulation*. <https://doi.org/10.1145/268437.268440>
- Mark, P., & Van der Loo, J. (2012). Learning R Studio for R Statistical Computing. Pack Publishing.
- Marques, A. F., Rönnqvist, M., D'Amours, S., Weintraub, A., Gonçalves, J., Borges, J. G., & Flisberg, P. (2012). Solving the raw material reception problem using revenue management principles: an application to a portuguese pulp. CIRLET.
- Mentzer, J. T., Keebler, J. S., Nix, N. W., Smith, C. D., & Zacharia, Z. G. (2001). Defining supply chain management. *Journal of Business Logistics*, 22(2), 1–25.
- Mustafa, M. . (2020). A Theoretical Model of Lean warehousing. Politecnico di Torino. <https://doi.org/10.6092/polito/porto/2588573>
- Newll. (1982). Applications of queueing theory. Chapman and Hall.
- Novack, R., Rinehart, L., & Langley, C. J. (1994). An Internal Assessment of Logistics Value. *Journal of Business Logistics*, 15(1).
- Potter, A., & Lalwani, C. (2007). Developing a methodology to analyse despatch bay performance. *International Journal of Production Economics*, 106(1), 82–91. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2006.04.010>
- Potter, A., Yang, B., & Lalwani, C. (2007). A simulation study of despatch bay performance in the steel processing industry. *European Journal of Operational Research*, 179, 567–578. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.02.027>
- Richards, G. (2014). Warehouse Management: A complete guide to improving efficiency and minimizing costs in the moder warehouse (2nd ed.). The Chartered Institute of Logistics and Transport.
- Rouwenhorst, B., Reuter, B., Stockrahm, V., Van Houtum, G. J., Mantel, R. J., & Zijm, W. H. M. (2000). Warehouse design and control: Framework and literature review. *European Journal of Operational Research*, 122(3), 515–533. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(99\)00020-X](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00020-X)

Sheffi, Y., & Klaus, P. (1997). Logistics at large: jumping the barriers of the logistics function. *Council of Logistics Management Educator's Conference*. <http://sheffi.mit.edu/sites/default/files/CLM-Logistics at Large.pdf>

Sindi, S., & Roe, M. (2017). The Evolution of Supply Chains and Logistics. In *Strategic Supply Chain Management* (pp. 7–25). Palgrave Macmillan. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-54843-2>

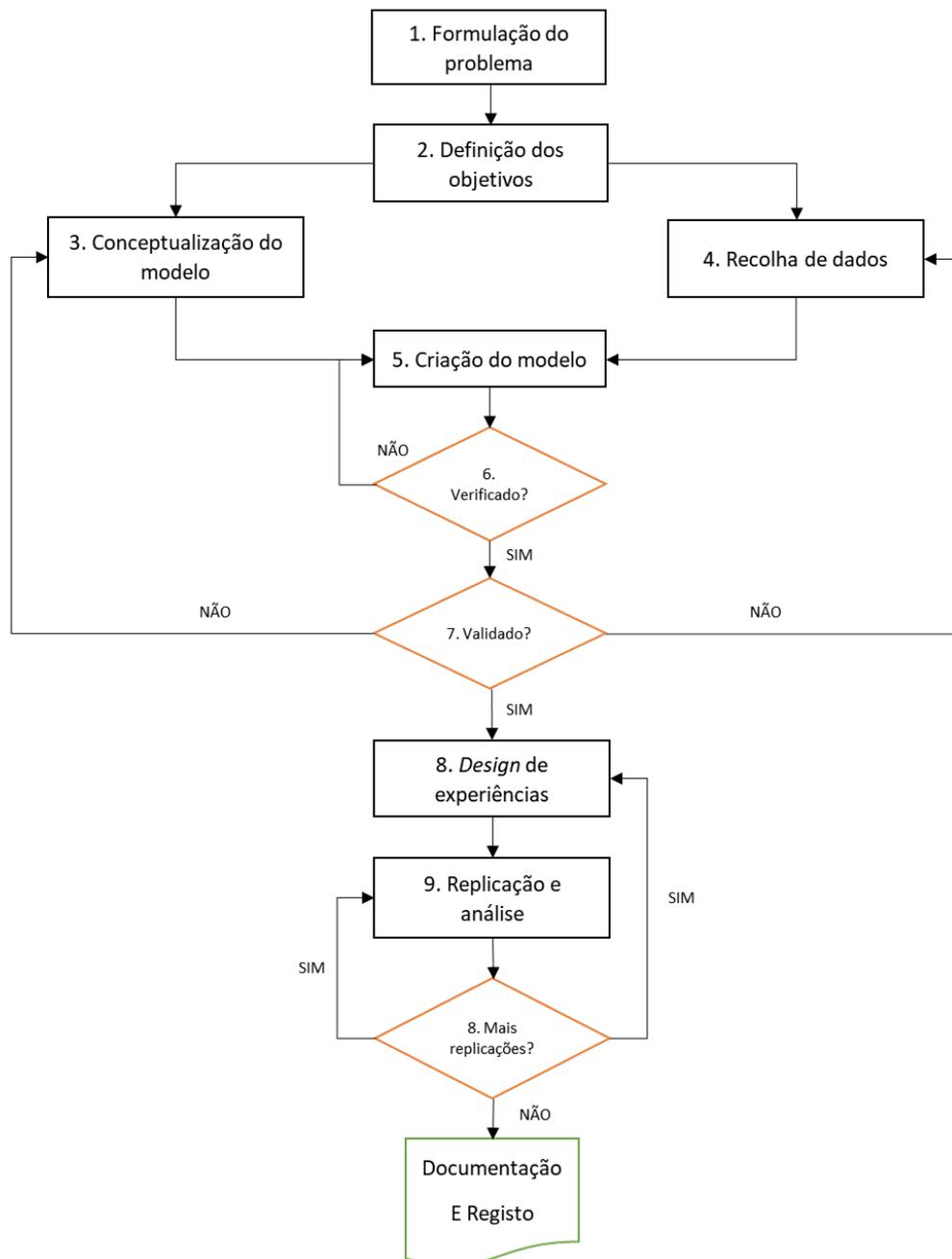
Stank, T. P., & Goldsby, T. J. (2000). A framework for transportation decision making in an integrated supply chain. *Supply Chain Management*, 5(2), 71–77. <https://doi.org/10.1108/13598540010319984>

Staudt, F. H., Alpan, G., Di Mascolo, M., & Rodriguez, C. M. T. (2015). Warehouse performance measurement: A literature review. *International Journal of Production Research*, 53(18). <https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1030466>

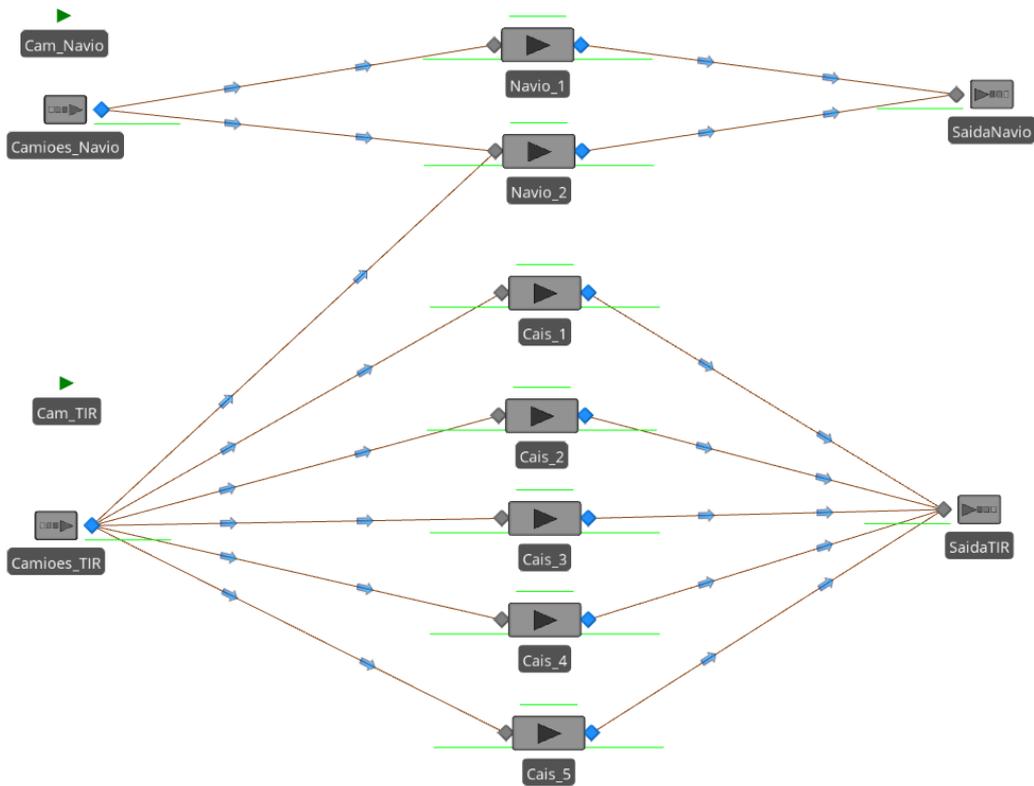
Tavares, L., Oliveira, R., Themido, I., & Correia, F. (1996). *Investigação operacional*. McGraw-Hill.

Zuting, K. R., Mohapatra, P., Daultani, Y., & Tiwari, M. K. (2014). A synchronized strategy to minimize vehicle dispatching time: A real example of steel industry. *Advances in Manufacturing*, 2(4), 333–343. <https://doi.org/10.1007/s40436-014-0082-1>

ANEXO I



ANEXO II



ANEXO III

