

Otimização de Cadeia de Abastecimento de Congelados

Caso da Jerónimo Martins

Mariana Bernardes dos Santos Correia

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia e Gestão Industrial

Orientadoras: Prof^a. Ana Isabel Cerqueira de Sousa Gouveia Carvalho

Eng^a. Bruna Alexandra Elias Mota

Júri:

Presidente: Prof^a. Ana Sofia Mascarenhas Proença Parente da Costa

Orientadora: Prof^a. Ana Isabel Cerqueira de Sousa Gouveia Carvalho

Vogal: Prof^a. Maria Isabel Gomes

Dezembro 2016

Resumo

A crescente consciencialização global da importância de práticas sustentáveis, tem levado as mais diversas áreas a transcreverem esta tendência no seu funcionamento, integrando este conceito nos seus processos, considerando a redução de impactos ambientais negativos e a promoção da sociedade em que se inserem. Consequentemente, as empresas procuram otimizar as suas cadeias de abastecimento, de modo a satisfazer os consumidores cada vez mais conscientes e preocupados.

Neste contexto surge o problema em estudo, no qual o grupo Jerónimo Martins procura otimizar a sua cadeia de abastecimento para melhor se adaptar às exigências da atualidade. Em particular, relativamente à cadeia de abastecimento de produtos congelados em Portugal com o objetivo de aumentar a sua eficiência, reduzir custos e promover uma relação saudável com o ambiente e a sociedade.

Na presente dissertação é analisado o caso de estudo descrito, sendo identificada e descrita a atual cadeia de abastecimento de congelados do grupo e definidos os principais problemas da mesma. Com o intuito de solucionar o problema é proposto um modelo MOMILP (*Multiobjective Mixed Integer Linear Programming*), aplicado recorrendo ao *software* GAMS, que avalia o desempenho da cadeia de abastecimento segundo as dimensões económica, ambiental e social, contemplando como funções objetivo a minimização de custos totais e impactos ambientais (avaliados segundo diferentes metodologias LCIA) e a maximização de benefício social.

A aplicação do modelo desenvolvido permite estudar variados cenários para a configuração da cadeia de abastecimento, com o intuito de definir o número, dimensão e localização de armazéns a implantar, os fluxos de artigos que circulam nas instalações e as regiões de abastecimento das mesmas, tendo em conta o desempenho da cadeia.

Assim, este trabalho visa apoiar decisões estratégico-táticas para a cadeia de abastecimento de produtos congelados da JM, sugerindo possíveis configurações para a mesma após análise dos resultados obtidos para os vários cenários estudados.

Palavras-chave: cadeia de abastecimento sustentável; setor alimentar; otimização; modelação.

Abstract

With the growing concern towards sustainability, many industries have been incorporating this trend into their behaviour, through the integration of this concept in their processes, considering the reduction of negative environmental impacts and promoting its surrounding society. Hence, companies aim to optimize their supply chains in order to satisfy consumers, which are increasingly concerned with the sustainable future.

The present problem arises in this context, in which Jerónimo Martins intends to optimize its supply chain towards a better fitting in the current demanding reality. In particular, the frozen supply chain in Portugal, in order to enhance efficiency, reduce costs and promote a healthy relationship with environment and society.

In the current dissertation the described case study is analysed, where the actual frozen supply chain of JM and its problems are defined. With the objective of solving the problem at hand, a MOMILP (Multiobjective Mixed Integer Linear Programming) model is proposed and solved using the software GAMS, assessing the supply chain's performance evolution in the economic, environmental and social dimensions, by contemplating as objective functions the total costs and environmental impact (considering different LCIA methodologies) minimizations and the social benefit maximization.

By applying the developed model, several scenarios for the supply chain's design are analysed, in order to define the implemented warehouses' dimension and location, the product flows and the supplying stores' region for each warehouse, by considering the supply chain's performance.

Therefore, the current work aims to support the strategic and tactic decisions for the frozen supply chain of JM and possible supply chain's configurations are suggested after analysing the results obtained for the several modelled scenarios.

Keywords: sustainable supply chain; food sector; optimization; modelling.

Agradecimentos

Em primeiro lugar quero agradecer à Professora Ana Carvalho por me ter dado a oportunidade de desenvolver este trabalho sob a sua orientação. Reconheço que foi uma caminhada longa e, por vezes, difícil, o que me faz realçar o seu apoio incondicional e a sua permanente dedicação. Obrigada não só por toda ajuda durante todo o trabalho, mas também pela sinceridade, confiança e pelos ensinamentos que levarei para o meu futuro.

Com igual relevância, quero agradecer à Eng. Bruna Mota que disponibilizou um sem fim de horas do seu curto tempo para me apoiar no desenvolvimento deste trabalho. Obrigada por toda a paciência, conselhos e conhecimento que me permitiram alcançar este resultado final.

Agradeço à Jerónimo Martins por me ter possibilitado a realização do presente trabalho. Em particular, agradeço ao Eng. Pedro Ramalho e à Eng. Ana Novais por terem disponibilizado o tema e supervisionado o desenvolvimento deste trabalho, e ao Eng. Olev Pinto, a quem deixo um enorme obrigada por me ter acompanhado durante todo este processo, mostrando constante disponibilidade e interesse.

Não por a regra o ditar, mas por o sentir, o mais profundo obrigada à minha família pelo enorme suporte. Em especial, à minha irmã Inês com quem partilhei e descarreguei todos os meus momentos altos e baixos vividos durante esta fase da minha vida. Obrigada por me aturares.

Por fim, mas não de menor importância, obrigada a todos os meus amigos e colegas que me deram confiança, coragem e força para percorrer esta reta final do meu percurso académico.

Índice

RESUMO	II
ABSTRACT	III
AGRADECIMENTOS	IV
ÍNDICE	V
LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE TABELAS	VIII
GLOSSÁRIO DE ACRÓNIMOS	IX
NOMENCLATURE	XII
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	1
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA.....	1
1.2. OBJETIVOS DO TRABALHO.....	2
1.3. METODOLOGIA.....	2
1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO.....	2
CAPÍTULO 2 – CASO DE ESTUDO	4
2.1. O GRUPO JERÓNIMO MARTINS.....	4
2.2. HISTÓRIA DA JERÓNIMO MARTINS.....	5
2.3. CARACTERIZAÇÃO DA CADEIA DE ABASTECIMENTO DA JM EM PORTUGAL.....	6
2.3.1. <i>Centros de Distribuição</i>	6
2.3.2. <i>Lojas</i>	8
2.3.3. <i>Transportes</i>	9
2.3.4. <i>Fluxos de Informação</i>	10
2.3.5. <i>Desempenho e sustentabilidade da cadeia de abastecimento da JM</i>	10
2.4. DESCRIÇÃO DA CADEIA DE CONGELADOS DA JM EM PORTUGAL.....	11
2.4.1. <i>Produtos do sortido de congelados da JM</i>	11
2.4.2. <i>Componentes da Cadeia de Abastecimento de Congelados da JM</i>	12
2.5. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA.....	16
2.6. CONCLUSÕES DO CAPÍTULO.....	17
CAPÍTULO 3 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1. METODOLOGIA E ANÁLISE DESCRITIVA DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
3.2. CADEIAS DE ABASTECIMENTO SUSTENTÁVEIS.....	19
3.2.1. <i>Cadeias de abastecimento:</i>	19
3.2.2. <i>Sustentabilidade</i>	20
3.2.3. <i>Integração de cadeias de abastecimento e sustentabilidade</i>	21
3.3. MODELAÇÃO DE CADEIAS DE ABASTECIMENTO SUSTENTÁVEIS.....	28

3.3.1.	<i>Modelos</i>	29
3.3.2.	<i>Métodos de solução</i>	32
3.4	CADEIAS DE ABASTECIMENTO DE CONGELADOS	33
3.5.	CONCLUSÕES DO CAPÍTULO	34
CAPÍTULO 4 – TRATAMENTO DE DADOS		35
4.1.	PRODUTOS	35
4.2.	LOCALIZAÇÕES	38
4.3.	RECOLHA E TRATAMENTO DE DADOS	40
4.3.1.	<i>Escala temporal</i>	40
4.3.2.	<i>Super estrutura da cadeia de abastecimento</i>	40
4.3.3.	<i>Distâncias</i>	42
4.3.4.	<i>Custos</i>	42
4.3.5.	<i>Indicadores ambientais</i>	45
4.3.6.	<i>Indicadores sociais</i>	47
4.4.	CONCLUSÕES DO CAPÍTULO	48
CAPÍTULO 5 – CONCEÇÃO DO MODELO DE OTIMIZAÇÃO		49
5.1.	DESCRIÇÃO DO MODELO DE OTIMIZAÇÃO	49
5.2.	FORMULAÇÃO MATEMÁTICA	51
5.2.1.	<i>Índices</i>	51
5.2.2.	<i>Conjuntos</i>	51
5.2.3.	<i>Parâmetros</i>	52
5.2.4.	<i>Variáveis</i>	53
5.2.5.	<i>Formulação matemática</i>	54
5.3.	CONCLUSÕES DO CAPÍTULO	58
CAPÍTULO 6 – APLICAÇÃO DO MODELO DE OTIMIZAÇÃO		59
6.1.	CENÁRIOS E RESULTADOS	59
6.1.1.	<i>Situação Atual</i>	60
6.1.2.	<i>Adaptações da situação atual</i>	60
6.1.3.	<i>Dimensão Económica</i>	63
6.1.4.	<i>Dimensão Ambiental</i>	66
6.1.5.	<i>Dimensão Social</i>	70
6.1.6.	<i>Análise multiobjetivo</i>	72
6.1.7.	<i>Comparação dos resultados e conclusões</i>	73
6.1.8.	<i>Resultados computacionais</i>	75
6.2.	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	75
6.2.1.	<i>Procura</i>	75
6.2.2.	<i>Custos de transporte</i>	76
6.2.3.	<i>Conclusões da análise de sensibilidade</i>	77

CAPÍTULO 7 – CONCLUSÕES FINAIS E TRABALHO FUTURO	78
BIBLIOGRAFIA.....	81
ANEXOS.....	85
ANEXO A: AS EMPRESAS QUE INTEGRAM O GRUPO JM (JERÓNIMO MARTINS, 2015A).	86
ANEXO B: CADEIA DE ABASTECIMENTO DA JM EM PORTUGAL.	87
ANEXO C: ARMAZÉNS POR CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO DA JERÓNIMO MARTINS.	88
ANEXO D: NACIONALIDADE DOS FORNECEDORES DA CADEIA DE CONGELADOS DA JM PORTUGAL.	89
ANEXO E: NÚMERO DE ARTIGOS SEGUNDO AS PALAVRAS-CHAVE USADAS NOS DIFERENTES MOTORES DE BUSCA.....	90
ANEXO F: CATEGORIA "MODELAÇÃO" SEGUNDO O NÍVEL DE GESTÃO DAS CADEIAS DE ABASTECIMENTO... ..	91
ANEXO G: DESCRIÇÃO DOS MODELOS PRESENTES NA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	92
ANEXO H: DISPERSÃO DAS CARACTERÍSTICAS DOS ARTIGOS POR CATEGORIA.....	94
ANEXO I: DESCRIÇÃO DOS INDICADORES AMBIENTAIS PARA AS DIFERENTES METODOLOGIAS.....	95
ANEXO J: ANÁLISE MULTIOBJETIVO: MÉTODO AUGMECON	99

Lista de Figuras

Figura 1: Fases da Metodologia na elaboração da Dissertação de Mestrado.....	2
Figura 2: Centros de Distribuição da JMR e zonas de abastecimento.	7
Figura 3: Fluxo de produtos dentro dos armazéns segundo os regimes de aprovisionamento.	8
Figura 4: Concentração de lojas do Pingo Doce por Portugal.	9
Figura 5: Análise ABC do sortido de congelados.....	11
Figura 6: Publicações dos artigos estudados.....	19
Figura 7: Ano de publicação dos artigos da presente revisão bibliográfica.	19
Figura 8:Revisão segundo a nacionalidade da intuição de afiliação do 1º autor.	19
Figura 9: Dimensões da sustentabilidade abordadas na bibliografia.	21
Figura 10: Estado da arte segundo a definição de cadeia de abastecimento considerada.	23
Figura 11: Estado da arte segundo a metodologia apresentada nos diferentes artigos.	24
Figura 12: Fluxograma de agrupamento de artigos segundo peso e dimensão.....	36
Figura 13: Procedimento de seleção de localizações para os armazéns.	38
Figura 14:Processo de definição das localizações e respetivas áreas.....	40
Figura 15: Comparação de distâncias.....	42
Figura 16: Cadeia de Abastecimento (Fonte: Mota et al., 2016).	49
Figura 17: Cenários a analisar.	59
Figura 18: Desempenho económico dos cenários D, E e F num período de 10 anos.	65
Figura 19: Impacto da implementação dos cenários G, H e I para cada categoria de impacto ReCiPe Midpoint.	67
Figura 20: Impacto do transporte dos cenários G, H e I para cada categoria de impacto ReCiPe Midpoint.	68
Figura 21: Impacto da implementação de instalações e do transporte do cenário J para cada categoria de impacto PEF.	69
Figura 22: Frente de Pareto.	73
Figura 23: Desempenho económico dos cenários A, B/F, D e G.	74
Figura 24: Configuração da cadeia de abastecimento segundo os cenários A, B/F, D e G.....	74
Figura 25: Variação das áreas segundo a variação da procura (m2).....	76
Figura 26: Variação das áreas segundo a variação dos custos de transporte (m2).....	77

Lista de Tabelas

Tabela 1: Superfícies comerciais do grupo JM por região geográfica (Jerónimo Martins, 2015 c).	9
Tabela 2: Caracterização dos armazéns de congelados da JM (Jerónimo Martins, 2015).	15
Tabela 3: Classificação dos artigos com modelação segundo as definições de cadeias de abastecimento.	27
Tabela 4: Características das quatro categorias de produtos.....	37

Tabela 5: Artigos representativos do sortido de congelados.	37
Tabela 6: Dimensão, procura anual e inventário mínimo dos artigos representativos.	37
Tabela 7: Distribuição geográfica de fornecedores, lojas e quantidades movimentadas	39
Tabela 8: Quantidades movimentadas e preço de terreno por concelho.	39
Tabela 9: Áreas máximas das localizações possíveis.	40
Tabela 10: Preço do terreno das localizações.	42
Tabela 11: Distribuição de trabalhadores.	43
Tabela 12: Custos de pessoal em 2014.	43
Tabela 13: Custo anual por trabalhador nos armazéns da JM.	44
Tabela 14: Custos de inventário anuais.	44
Tabela 15: Custos de transporte anuais.	45
Tabela 16: Taxa de desemprego e densidade populacional por concelho.	48
Tabela 17: Configuração da cadeia de abastecimento do cenário A (cenário real).	60
Tabela 18: Validação do modelo.	60
Tabela 19: Configuração da cadeia de abastecimento obtida com o cenário B.	61
Tabela 20: Desempenho nas funções objetivo dos cenários A, B e C.	62
Tabela 21: Desempenho económico obtidos nos cenários A, B e C.	62
Tabela 22: Configuração da cadeia de abastecimento obtida com o cenário D.	63
Tabela 23: Configuração da cadeia de abastecimento obtidas com o cenário E.	64
Tabela 24: Desempenho nas funções objetivo dos cenários D, E e F.	65
Tabela 25: Configuração da cadeia de abastecimento dos cenários G, H, I.	67
Tabela 26: Configuração da cadeia de abastecimento do cenário J.	69
Tabela 27: Desempenho nas funções objetivo dos cenários G, H, I e J.	70
Tabela 28: Configuração da cadeia de abastecimento do cenário L.	71
Tabela 29: Configuração da cadeia de abastecimento do cenário M.	71
Tabela 30: Desempenho nas funções objetivo dos cenários D, K, L e M.	72
Tabela 31: Pontos da frente de Pareto.	73
Tabela 32: Resultados computacionais.	75
Tabela 33: Desempenho dos cenários com variação na procura.	75
Tabela 34: Desempenho dos cenários com a variação dos custos de transporte.	77

Glossário de Acrónimos

AHP – *Analytic Hierarchical Process*

AICA – *Adapted Imperialist Competitive Algorithm*

ANP – *Analytic Network Process*

APED – Associação Portuguesa de Empresas de Distribuição

AT – Acessório de Transporte

BONLP – *Bi-Objective Non-Linear Programming*

BOPMILP – *Bi-Objective Possibilistic Mixed Integer Linear Programming*

CSR – *Corporate Social Responsibility*

DEMATEL – *Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory*

FIMA – *Fábrica Imperial de Margarina*

FSE – *Fornecimento de Serviços Externos*

GA – *Genetic Algorithm*

ICA – *Imperialist Competitive Algorithm*

ILCD – *International Reference Life Cycle Data System*

INE – *Instituto Nacional de Estatística*

JIT – *Just In Time*

JM – *Jerónimo Martins*

JMD – *Jerónimo Martins Distribuição de Produtos de Consumo*

JMR – *Jerónimo Martins Retalho - Prestação de Serviços para a Distribuição, S.A.*

JMRS – *Jerónimo Martins Restauração e Serviços*

LCA – *Life Cycle Analysis*

LCIA – *Life Cycle Impact Assessment*

MARL – *Mercado Abastecedor da Região de Lisboa*

MBSA – *Model Based Safety Analysis*

MDPVRPI – *Multi-Depot Periodic Vehicle Routing Problem with Inter-depot routes*

MILP – *Mixed Integer Linear Programming*

MOGA – *Multi-Objective Genetic Algorithm*

MOLP – *Multi-Objective Linear Programming*

MOMILP – *Multi-Objective Mixed Integer Linear Programming*

MOO – *Multi-Objective Optimization*

MRP – *Material Requirement Planning*

NPV – *Net Present Value*

OPLS – *Outros Produtos de Livre Serviço*

PEF – *Product Environmental Footprint*

PIB – *Produto Interno Bruto*

SA – *Simulated Annealing*

SCOR – *Supply Chain Operations Reference*

SMILP – *Stochastic Mixed Integer Linear Programming*

SQP – *Sequential Quadratic Programming*

TBL – *Triple Bottom Line*

TTS – *Time-To-Sustainability*

TOPSIS – *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*

VNS – *Variable Neighborhood Search*

WCED – *World Commission on Environment and Development*

WPMS – *Warehouse Physical Management System*

Nomenclatura

Nomenclatura	Designação	Unidade
apu_m	área necessária por unidade do produto m para inventário	$m^2/caixa$
$apuh_m$	área necessária por unidade do produto m para <i>handling</i>	$m^2/caixa$
$cond$	percentagem correspondente ao acréscimo no custo de transporte pela utilização de mais um condutor por camião	-
ctr	custo de transporte por caixa e por quilómetro percorrido (com apenas um condutor)	€/caixa.km
d_{ij}	distância entre as entidades nas localizações i e j	km
dem_{mjt}	procura do produto m na loja j , para o período t	caixas
$desvio$	fator de desvio das distâncias calculadas	-
$dimprod$	fator de dimensionamento da instalação segundo o volume do sortido considerado	-
$distmax$	distância máxima percorrida considerando apenas um condutor por veículo	km
Em_i	indicador normalizado da taxa de desemprego da localização i	-
fwc_t	custo com os trabalhadores especializados, para o período t	€/trab
$ia_i^{máx}$	área máxima para a instalação do armazém na localização i	m^2
$ia_i^{mín}$	área mínima para a instalação do armazém na localização i	m^2
iai_c	fator de caracterização do impacto ambiental da implementação do armazém na categoria de impacto ReCiPe <i>Midpoint c</i>	-
iai_p	fator de caracterização do impacto ambiental da implementação do armazém na categoria de impacto PEF p	-
iat_c	fator de caracterização do impacto ambiental da atividade de transporte, na categoria de impacto ReCiPe <i>Midpoint c</i>	-
iat_p	fator de caracterização do impacto ambiental da atividade de transporte na categoria de impacto PEF p	-
ic	Custo de construção do armazém por metro quadrado	€/m ²
$il_m^{máx}$	nível de inventário máximo para o produto m	caixas
$il_m^{mín}$	nível de inventário mínimo para o produto m	caixas
inc	custo de inventário por caixa de produto	€/caixa
it_i	custo do terreno por metro quadrado da localização i	€/m ²
$mass_m$	peso da unidade do produto m	kg/caixa
Pop_i	indicador normalizado da densidade populacional da localização i	-
$staff$	número de trabalhadores especializados necessários por metro quadrado	trab/m ²
uc_t	custos operacionais por metro quadrado instalado, para o período t	€/m ²
w	número de trabalhadores não especializados por metro quadrado	trab/m ²
wc_t	custo com os trabalhadores não especializados, para o período t	€/trab
η_c	fator de normalização para a categoria de impacto ReCiPe <i>Midpoint c</i>	-
η_p	fator de normalização para a categoria de impacto PEF p	-

Capítulo 1 – Introdução

1.1. Contextualização do Problema

No ano de 2014, o setor do Comércio em Portugal era composto por cerca de 223,7 mil empresas, que empregavam 725,6 mil trabalhadores, o que representou um aumento de 0,3% em comparação com 2013. Este setor foi responsável por um volume de negócios de 120,6 mil milhões de euros em 2014, com um crescimento de 3,2% face ao ano anterior. Este aumento no volume de negócios teve como principais contribuidores os subsectores grossista e retalhista, representando 51,5% e 36,6%, respetivamente, do volume de negócios do setor. Em 2014, o comércio por grosso sofreu uma quebra de 2,1% no número de unidades empresariais comparativamente a 2013, contudo registou um aumento de 1% no volume de negócios face a 2013, após uma queda de 1,2% face a 2012. No subsector retalhista observou-se também uma diminuição de 1,2% no número de empresas em relação a 2013 e um crescimento de 2,4% no volume de negócios quando comparando com 2013. O retalho foi ainda o único subsector do comércio com um aumento de 0,5% no número de pessoas contratados face a 2013, após uma diminuição de 2,5% quando comparado com 2012 (INE, 2015).

Atualmente o mercado do retalho é também afetado pelas condições económico-financeiras que o país enfrenta, sendo a sua cadeia de abastecimento largamente impactada por este fenómeno. Mais se acrescenta que a proeminente preocupação com um estilo de vida sustentável adotado pelos consumidores e com a satisfação das necessidades sociais, criam novos desafios a este setor. Em resposta a estes fatores, o retalho alimentar apresenta quatro grandes tendências: 1) sistemas promocionais e o aumento do sortido de produtos oferecidos criando elevada incerteza na procura; 2) as tendências estratégicas de proximidade ao cliente; 3) aposta em marcas próprias; 4) comércio via online (Banco Big Research, 2013). Por conseguinte, o setor do retalho alimentar em Portugal é atualmente marcado pela transformação do sistema e estratégias de negócio, apostando em novos produtos e novos estabelecimentos comerciais, tendo em vista facilitar a melhoria do nível de serviço do consumidor. Estas alterações exprimem as tendências de modernização e concentração do setor de retalho em Portugal, caracterizado por possuir poucos *players* de grande dimensão (APED, 2009).

Nesta conjuntura, a Jerónimo Martins surge como um dos grandes *players* do retalho alimentar Português, baseando a sua atividade na gestão otimizada da sua cadeia de abastecimento, na qual figuram os conceitos de rentabilidade, eficiência e sustentabilidade, de modo a ir ao encontro dos interesses dos seus acionistas e a promover o desenvolvimento das regiões onde atua.

Deste modo, o presente trabalho provém da necessidade da Jerónimo Martins de investigar e desenvolver formas de otimizar a sua cadeia logística do setor dos congelados, para fazer face às circunstâncias do mercado atual, contemplando os elementos da sua cadeia de abastecimento e explorando os aspetos económicos, ambientais e sociais inerentes à atividade, com foco no nível de decisão estratégico.

1.2. Objetivos do Trabalho

Com este trabalho pretende-se otimizar a cadeia de congelados da JM em Portugal, com foco nos níveis estratégico e tático. Deste modo, os objetivos passam pela determinação do número de armazéns, a sua localização e dimensão ideais e os artigos que neles circulam, tendo por base o desempenho da cadeia de abastecimento resultante nos níveis económico, ambiental e social.

1.3. Metodologia

Na presente secção é apresentada a metodologia a seguir na abordagem ao problema tratado na presente dissertação de mestrado.

O trabalho encontra-se estruturado e desenvolvido seguindo o processo representado na figura 1.

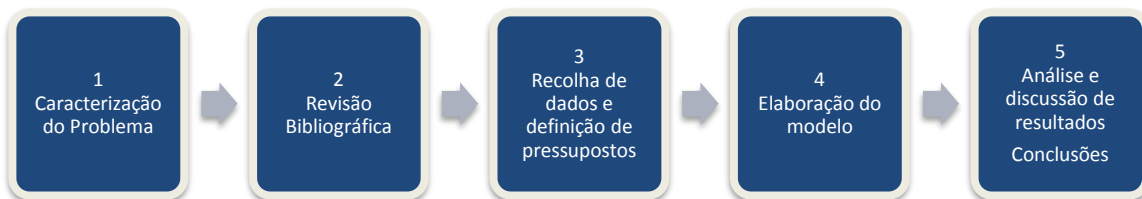


Figura 1: Fases da Metodologia na elaboração da Dissertação de Mestrado.

A primeira fase passa pela apresentação do Grupo Jerónimo Martins nas suas mais variadas vertentes, na qual será destacada a sua cadeia de abastecimento, em particular, a cadeia associada aos produtos congelados. Deste modo, será possível apontar de forma clara e contextualizada o problema base da dissertação.

Na etapa seguinte realizar-se-á a revisão do estado da arte com o intuito de construir uma base teórica e fundamentada para o caso de estudo, reunindo o material necessário para uma correta abordagem do problema.

A terceira fase baseia-se na recolha e tratamento dos dados relevantes para a elaboração do modelo. Sempre que necessário, serão definidos pressupostos para viabilizar o tratamento dos dados e atenuar a possível complexidade do caso.

O quarto passo tem como objetivo a elaboração de um modelo de otimização da cadeia, contemplando os dados recolhidos e as alternativas consideradas. Possibilitando, por conseguinte, a avaliação das alternativas dentro das variáveis económicas, ambientais e sociais inerentes a uma cadeia de abastecimento sustentável.

Por fim, na quinta etapa, analisa-se os resultados obtidos do modelo. Nesta fase identifica-se os aspetos positivos e negativos dos resultados alcançados nos diferentes cenários definidos e apresenta-se a melhor solução obtida.

1.4. Estrutura do Trabalho

A estrutura deste projeto consiste nos seguintes sete capítulos:

Capítulo 1 – Consiste no presente capítulo, no qual o tema da dissertação é brevemente introduzido, sendo apresentado o contexto do problema em estudo, a metodologia a ser seguida e os objetivos definidos para este trabalho.

Capítulo 2 – Apresenta-se a empresa sobre a qual o caso de estudo se reflete, sendo contemplada a cadeia de abastecimento da mesma, em particular, dos produtos congelados comercializados. Também neste capítulo, caracteriza-se o problema a estudar.

Capítulo 3 – Neste capítulo é efetuada a revisão do estado da arte, que recai sobre Cadeias de Abastecimento Sustentáveis e formas de modelação conjunta das diversas vertentes destas cadeias.

Capítulo 4 – Este capítulo apresenta as formas de tratamento dos dados necessários, sendo descrito as simplificações realizadas e, na ausência de dados, os pressupostos definidos. Este contempla ainda os critérios para a identificação de alternativas possíveis para as localizações dos armazéns em Portugal.

Capítulo 5 – Neste capítulo é desenvolvido o modelo de otimização, apresentando a sua formulação matemática.

Capítulo 6 – Este capítulo corresponde à aplicação do modelo matemático ao caso de estudo e a consequente análise dos resultados obtidos, considerando diversos cenários. Neste elabora-se ainda uma análise de sensibilidade aos dados com maior incerteza.

Capítulo 7 – Por fim, são apresentadas as principais conclusões do trabalho e direções para o desenvolvimento de trabalho futuro.

Capítulo 2 – Caso de Estudo

No presente capítulo é descrito o contexto no qual este trabalho se insere. Na secção 2.1, são enumeradas as diferentes áreas de negócio do grupo JM, bem como as suas regiões de intervenção. De modo a compreender a evolução do grupo, na secção 2.2, apresenta-se um resumo da sua história. Na secção 2.3, é analisada a cadeia de abastecimento da JM em Portugal, sendo caracterizadas as diferentes entidades da mesma. Na secção 2.4, descreve-se em maior detalhe a cadeia de abastecimento de produtos congelados uma vez que é o foco deste trabalho. Finalmente, caracteriza-se o problema a tratar neste projeto na secção 2.5, sendo as conclusões finais deste capítulo apresentadas na secção 2.6.

2.1. O grupo Jerónimo Martins

A JM apresenta-se no ramo da distribuição alimentar como um grupo internacional sediado em Portugal, tendo presença em setores de negócio como a distribuição, a indústria e os serviços.

Em detalhe, a JM desenvolve atividades no setor da distribuição alimentar, indústria, serviços e ainda outros negócios de menor dimensão na área da saúde e cosmética. De momento, o grupo tem presença em Portugal, o seu país de origem, na Polónia e Colômbia, a mais recente aposta do grupo. Nestas localizações, o grupo investe em diferentes estratégias, adaptando-se aos mercados das mesmas segundo os setores de negócio em que estabelece atividade (Jerónimo Martins, 2015c). Para uma melhor compreensão, na figura do Anexo A – As empresas que integram o grupo JM (Jerónimo Martins, 2015a) – são representados os diferentes segmentos de negócio do grupo com as respetivas insígnias e regiões de atuação.

Considerado o motor do grupo, o segmento da Distribuição Alimentar é caracterizado por uma estratégia de proximidade ao cliente, apostando também em preços competitivos, nas marcas próprias e na qualidade dos produtos que disponibiliza aos consumidores, com foco na excelência dos seus frescos, não descurando das tendências de consumo.

Assim, na Distribuição Alimentar estão incluídos tanto as atividades de retalho: Pingo Doce (400 lojas em Portugal), Biedronka (2587 lojas na Polónia) e Ara (86 lojas na Colômbia), como as grossistas, onde se destaca a insígnia Recheio (41 lojas em Portugal). Toda esta estrutura é suportada pelos diversos Centros de Distribuição existentes em cada país (Jerónimo Martins, 2015a).

No setor da Indústria, a Jerónimo Martins detém cerca de 45% da empresa Unilever Jerónimo Martins, líder em mercados como os das margarinas e detergentes, e ainda a Gallo Worldwide, que conta com a presença em mais de 47 países nos mercados dos azeites e óleos vegetais, integrando a terceira maior marca mundial de azeite (Jerónimo Martins, 2015a).

Os serviços estão segmentados nas áreas de Serviços de Marketing e Representação (Jerónimo Martins Distribuição de Produtos de Consumo – JMD), de Retalho de chocolates e confeitaria português (insígnia Hussel) e de Restauração com as cadeias Jeronymo e Olá (Jerónimo Martins Restauração e Serviços – JMRS). A JMD é responsável pela representação exclusiva de marcas internacionais no

mercado alimentar de grande consumo em Portugal (Jerónimo Martins, 2015a).

Por fim, os outros negócios do grupo integram a cadeia Hebe, com lojas dedicadas à cosmética e dermocosmética, e a rede de farmácias Apteka na Zdrowie, sendo que ambas operam apenas no mercado polaco (Jerónimo Martins, 2015a).

Certificando a coerência do grupo Jerónimo Martins, todas as empresas que nele integram, independentemente do setor de negócio, partilham os mesmos valores e seguem uma missão e uma estratégia unificadoras. Valores esses que se refletem na disciplina, no rigor, na responsabilidade e na inovação associados à JM. Consequentemente, a estratégia do grupo baseia-se tanto na criação de valor, através da solidez financeira, economias de escala, sinergias e promoção da inovação como fonte de vantagem competitiva, como no desenvolvimento sustentável, promovendo a Saúde e o respeito pelo Ambiente e pela Sociedade, com propostas de apoio das comunidades envolventes, sendo um empregador de referência e incentivando a compra responsável (Jerónimo Martins, 2015c).

Na atualidade, o desempenho da JM é marcado pela sua classificação de maior distribuidor alimentar tanto em território português como polaco e maior grupo industrial de bens de grande consumo em Portugal. Ocupando o lugar nº 59 do *Top 250 Global Retailers* em 2015 (Deloitte, 2016) o grupo destaca-se como um dos maiores retalhistas do mundo com atividade em três países e 12,68 mil milhões de euros de vendas em 2014, apresentando um crescimento de 7,2% face ao ano anterior. Quanto ao valor das vendas, a Biedronka é responsável por 66,5% e o Pingo Doce por 25,5%, sendo considerados os principais geradores de receita do grupo e de foco do programa de investimento (Jerónimo Martins, 2015b). A JM tem mantido a sua posição de liderança ao longo do tempo, conquistando mesmo, em 2015, o 16º lugar das 100 Empresas Mais Inovadoras no Mundo segundo a Forbes (revista norte-americana) e o prémio *European Business Awards* na categoria de Ambiente e Responsabilidade Corporativa.

2.2. História da Jerónimo Martins

A Jerónimo Martins (JM) foi criada pelo galego Jerónimo Martins que, em 1792, abriu uma pequena loja de produtos alimentares no Chiado. Em 1921, a empresa adquiriu os Grandes Armazéns Reunidos, potenciando o crescimento da mesma, através de uma maior rede de lojas e da eliminação da transação e armazenagem de produtos não-alimentares (Jerónimo Martins, 2015a).

Posteriormente, o grupo integrou o setor de produção industrial através da Fábrica Imperial de Margarina, Lda. (FIMA) em 1944 e, mais tarde, em 1949, pela parceria com a Unilever. Esta parceria veio a integrar marcas como a Olá (1959) e a Iglo (1970), ambas de produtos congelados. A forte aposta na distribuição surge em 1978, com a constituição da rede de superfícies comerciais Pingo Doce. Em 1985, é criado o ramo JMD (Jerónimo Martins Distribuição) e em 1988 o grupo dá continuidade à sua expansão através de aquisições como a insígnia Recheio (Jerónimo Martins, 2015a).

Em 1992, o grupo introduz as marcas próprias, a estratégia de vários formatos no retalho e ainda estabelece uma *joint-venture* com a Royal Ahold (retalhista alimentar holandesa), que atualmente detém 49% da JMR (Jerónimo Martins Retalho – Prestação de Serviços para a Distribuição, S.A.). O

processo de internacionalização é posto em prática em 1995, com a expansão para a Polónia (Jerónimo Martins, 2015a).

Nos anos seguintes o grupo procedeu a reestruturações em diversas áreas, alienando e adquirindo marcas e parcerias, e fortalecendo a aposta no mercado polaco através da abertura de mais lojas e centros de distribuição. No ano 2006, implementa-se uma só Companhia na área da Indústria, Unilever Jerónimo Martins. Nos três anos seguintes, o grupo não só adquiriu as superfícies comerciais da cadeia Plus em Portugal e na Polónia, como também certificou as suas marcas próprias, aumentou o número de lojas do Pingo Doce e da Biedronka e iniciou a fusão formal do Pingo Doce com o Feira Nova, adotando apenas a insígnia do Pingo Doce. O grupo Jerónimo Martins consagrou-se, em 2007, um dos maiores empregadores em Portugal, com um total de 41 300 trabalhadores, dos quais cerca de 11 500 integraram o projeto de formação “Aprender e Evoluir”, iniciativa que pretende contribuir para formação e desenvolvimento pessoal e profissional dos seus colaboradores, possibilitando que estes possam concluir a escolaridade obrigatória ou frequentar o ensino secundário (Jerónimo Martins, 2015b).

Recentemente o grupo enveredou para novos ramos. Em Portugal, apostou na restauração, oferecendo opções de *takeaway* e implementando restaurantes nas suas superfícies comerciais. Na Polónia, entrou no setor das *drugstores*, abrindo, em 2011, 7 lojas HeBe, e iniciou atividade na Colômbia com a insígnia Ara, abrindo o primeiro centro de distribuição no país. Já em 2014, o grupo JM cria a empresa Jerónimo Martins Agro-Alimentar, reforçando a prioridade do grupo no acesso direto a fontes de produtos estratégicos (Jerónimo Martins, 2015b).

2.3. Caracterização da Cadeia de Abastecimento da JM em Portugal

Na JM, a gestão da cadeia de abastecimento em Portugal é assegurada pela JMR (Jerónimo Martins Retalho – Prestação de serviços para a Distribuição, S.A.), empresa do grupo responsável pelo setor da distribuição. Assim, a JMR interliga fornecedores e clientes através das atividades de compra, armazenamento e transporte dos produtos comercializados pelas várias insígnias do grupo. Esta cadeia de abastecimento encontra-se representada na figura do Anexo B – Cadeia de abastecimento da JM em Portugal, na qual constam os diferentes tipos de entidades integrantes, ou seja, os diversos fornecedores, os centros de distribuição e as múltiplas superfícies comerciais abastecidas pela JM, sendo ainda representados os fluxos de produtos e informação que circulam ao longo da cadeia e ainda os diferentes regimes a que os produtos são sujeitos (JIT e *stock*).

Nas subsecções seguintes são descritas, com maior detalhe, as entidades que constituem esta cadeia de abastecimento e os fluxos que nesta circulam.

2.3.1. Centros de Distribuição

Em Portugal, o grupo centraliza os seus armazéns em 8 centros de distribuição, que estão agrupados segundo a região que abastecem, dividindo-se nas zonas Norte, Centro (também responsável pelo fornecimento às ilhas) e Sul. Assim, como representado na figura 2, a zona Norte inclui os centros de Laúndos, Guardairas e Vila do Conde. Já no Centro são englobados os centros de Azambuja, Alcochete, Vila Nova da Rainha, MARL (Mercado Abastecedor da Região de Lisboa). Por fim, a região Sul é abastecida a partir de Algoz (Algarve). De modo geral, a localização de cada centro corresponde

à região que abastece, isto é, os centros no Norte são responsáveis pelos artigos disponíveis nas superfícies do Norte e assim sucessivamente.

Destaca-se que consoante as características e o regime de aprovisionamento dos produtos que circulam em cada armazém, estes apresentam características específicas, tais como temperatura, humidade, nº de *racks*, nº de portas, dimensão, etc. Na tabela C.1 do Anexo C – Armazéns por centro de distribuição da Jerónimo Martins – encontram-se descritas as áreas de cada centro distribuição e são enumerados os diferentes armazéns que compõem cada centro de distribuição.

Toda a atividade desenvolvida nos centros de distribuição e respetivos armazéns, é da responsabilidade da Direção de Logística do grupo. A Logística tem como objetivo a eficiência dos seus armazéns de modo a cumprir os níveis de serviço estipulados, considerando a otimização de custos. A cargo deste departamento está não só a gestão do processo desde a receção dos produtos do fornecedor até à sua expedição para cada loja, como também do retorno de mercadorias e acessórios de transporte (AT) no fluxo inverso (logística inversa).

Os artigos que circulam nos centros de distribuição do grupo podem ser agrupados segundo o seu regime de aprovisionamento: JIT (*Just In Time*) (que inclui um sub-fluxo de *cross-docking*) e *stock*. O sistema JIT representa a distribuição de um produto desde o fornecedor até à loja em pequenas janelas temporais (24h) e é aplicado a produtos perecíveis e a produtos cujo *stock* não seja justificável para o grupo. O *cross-docking* é também um sistema que implica curtos intervalos de tempo (cerca de 24h), no qual o fornecedor entrega os produtos já paletizados segundo os pedidos de cada loja, sendo desnecessário o seu manuseamento no interior dos armazéns. O sistema *stock* pressupõe que o artigo associado tenha uma fase de armazenamento, cuja duração varia segundo as características do produto (*rotação*, *lead time* e validade), permitindo tirar proveito de descontos atribuídos à compra de grandes quantidades de algumas mercadorias. Por conseguinte, este sistema é aplicável a produtos não perecíveis.

Com base nestes regimes de aprovisionamento, o grupo estabelece então diferentes processos para os vários produtos. Assim, as mercadorias provenientes dos fornecedores estão sujeitas a diferentes etapas processuais: receção, armazenamento, execução e expedição. A receção consiste na verificação da quantidade e qualidade dos produtos recebidos e a consequente atualização do inventário. Posteriormente, os produtos poderão ser armazenados numa localização previamente definida ou atribuídos automaticamente à fase de execução, na qual os produtos são paletizados por loja, segundo os seus pedidos. Finalmente ocorre a expedição, onde as paletes anteriormente constituídas são distribuídas e carregadas para os diferentes carros que transportarão os produtos a

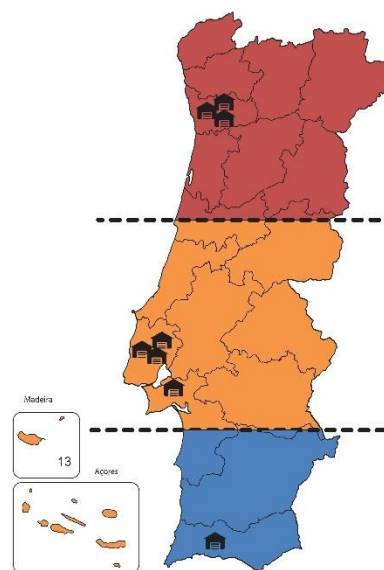


Figura 2: Centros de Distribuição da JMR e zonas de abastecimento.

cada loja. De modo a ilustrar o fluxo interno de produtos no armazém, dependendo do seu regime de aprovisionamento, apresenta-se a figura 3.

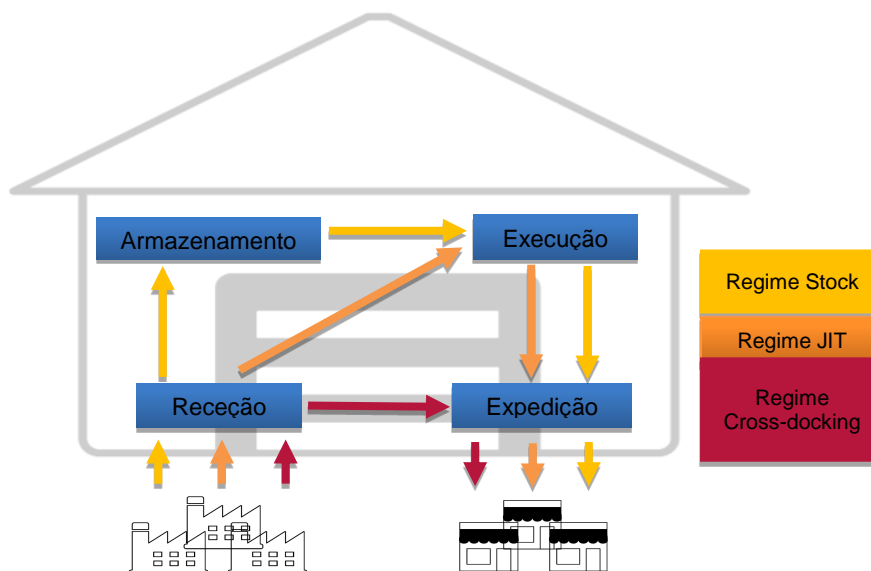


Figura 3: Fluxo de produtos dentro dos armazéns segundo os regimes de aprovisionamento.

Na figura 3, encontra-se esquematizado a amarelo o percurso do regime *stock*, que subentende a seguinte sequência das tarefas receção dos produtos provenientes dos fornecedores, o seu armazenamento, execução segundo o pedido das lojas posteriormente realizado e, finalmente, a sua expedição segundo o escalonamento. A cor de laranja, visualiza-se o percurso correspondente ao regime JIT, cujo processo é executado num intervalo inferior a 24h e inclui as tarefas de receção, execução e expedição. Por fim, no *cross-docking*, representado a vermelho, ocorrem apenas as tarefas de receção e expedição, uma vez que, os produtos chegam ao armazém já paletizados segundo os pedidos de cada loja. Apesar de não especificado na figura, recorrendo ao conceito de *cross-docking*, o grupo define ainda outra operação, na qual é necessária uma etapa entre a receção e a expedição, em que os produtos, que já vêm identificados do fornecedor com a loja destino, mas não paletizados segundo as mesmas, são adicionados a paletes já executadas por loja.

Nas atividades desenvolvidas ao nível dos centros de distribuição do grupo, é possível observar que a maioria da movimentação de produtos dos centros de distribuição para as lojas se realiza segundo um sistema *pull*, visto a mesma só ocorrer após o envio do pedido por parte das lojas.

Atualmente, uma das áreas problemáticas da JM passa pela sua cadeia de abastecimento de congelados, tratando-se do foco do presente trabalho.

2.3.2. Lojas

Como evidenciado na descrição da empresa, em Portugal, a JM chega aos clientes da distribuição alimentar por intermédio do Pingo Doce (retalho) e do Recheio (grosso).

A insígnia Pingo Doce inclui 400 lojas espalhadas por todo Portugal continental e na ilha da Madeira, sendo as mesmas agrupadas nas regiões Norte, Centro, Sul e Ilhas, tal como é visível na tabela 1. As suas lojas são agrupadas segundo a sua área de venda, compreendendo as seguintes dimensões: >2000 m² (híper), 2000 m², 1500 m², 1000 m² e 600 m². Na figura 4 apresenta-se a distribuição geográfica das diversas lojas da insígnia por distrito, sendo possível verificar uma maior concentração nas áreas metropolitanas de Porto e Lisboa e que, na generalidade, o litoral exibe maior concentração que o interior, refletindo a distribuição da populacional (Jerónimo Martins, 2015).

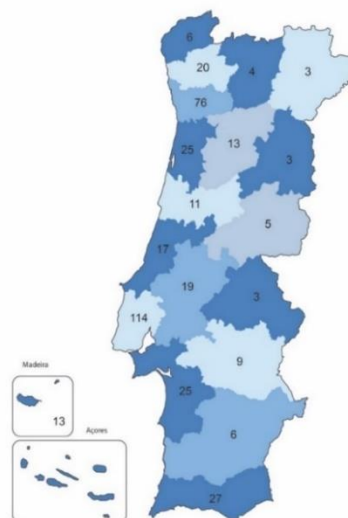


Figura 4: Concentração de lojas do Pingo Doce por Portugal.

Quanto à distribuição alimentar por grosso, o grupo detém 38 lojas Recheio e 3 plataformas de *food-service* Caterplus, cuja distribuição por região é apresentada na tabela 1. Por intermédio deste setor, a JM satisfaz as necessidades de pequenos retalhistas, armazenistas e ainda abastece o canal de distribuição HoReCa (organizações de restauração e hotelaria) (Jerónimo Martins, 2015c).

Tabela 1: Superfícies comerciais do grupo JM por região geográfica (Jerónimo Martins, 2015 c).

Região	Pingo Doce	Recheio	Caterplus
Norte	152	13	1
Centro	201	18	1
Sul	34	5	1
Ilhas	13	2	-
Total	400	38	3

2.3.3. Transportes

A JM não detém a frota transportadora dos produtos que circulam entre os centros de distribuição e as lojas. Assim, recorre aos serviços de diversas transportadoras, nas quais estão incluídas a ZAS, TJA, TFS, Edgar & Prieto, Oscarodivel e Tracar. Entre estas, destaca-se a ZAS que é responsável por 80% da frota disponibilizada, valor que é justificado pelo facto de esta empresa resultar da *joint-venture* entre a JM e a TFS (desde 2005) e trabalhar em regime de exclusividade para o grupo.

Apesar da gestão de frotas ser realizada externamente, o planeamento, controlo de execução e controlo de custos associados ao transporte estão a cargo do departamento de transportes do grupo. Também o transporte das devoluções associadas à atividade da logística inversa, o reenvio de ATs (como paletes, *rol containers* e caixas) e o *backhauling* (serviço disponibilizado aos fornecedores para transportar os seus produtos até aos centros, que tem como objetivo evitar a circulação de veículos sem carga provenientes das lojas) estão sob controlo deste mesmo departamento.

O departamento de transportes pretende distribuir todos os pedidos das lojas executados, contemplando horários, tempos de entrega e níveis de serviços estabelecidos, e com a maior eficiência possível, minimizando a circulação de espaço vazio nos veículos e as distâncias percorridas pelos mesmos.

2.3.4. Fluxos de Informação

Toda a atividade da JMR tem por base o fluxo de informação entre lojas, centros de distribuição e fornecedores. O processo de abastecimento é iniciado com o pedido realizado pela loja, que é efetuado no *software* SAP ERP. Em norma, os pedidos são automáticos seguindo o algoritmo de planeamento definido, MRP (*Material Requirement Planning*), podendo também ser alterados ou inseridos manualmente no sistema através de ordens de compra.

Representando o principal meio de comunicação entre as entidades da cadeia, o sistema SAP ERP disponibiliza toda a informação sobre as necessidades de cada loja, que, nos centros de distribuição, é convertida e disponibilizada no sistema WPMS (*Warehouse Physical Management System*), o qual permite a gestão dos armazéns da companhia. O WPMS é responsável pela transformação dos pedidos das lojas em paletes a executar pelos armazéns, que posteriormente serão expedidas para as lojas. A chegada de pedidos aos centros de distribuição é repercutida aos fornecedores, de modo a reabastecer os primeiros, por forma a cumprir os níveis de serviço exigidos pelo grupo.

A relação com os fornecedores do grupo é mediada pelo departamento de *Supply Chain*, que controla encomendas, horários e tempos de entrega da mercadoria, contemplando *lead times*, tempo que decorre entre a colocação da encomenda e a sua entrega, e verificando as quantidades entregues.

2.3.5. Desempenho e sustentabilidade da cadeia de abastecimento da JM

A JM projeta a sua cadeia com base nos conceitos de flexibilidade e proximidade ao cliente, mantendo o seu sortido de produtos sempre disponível em todas as lojas e cumprindo os elevados níveis de serviço. Estes princípios exigem que a cadeia apresente uma elevada capacidade de reação face à incerteza nos pedidos por parte das lojas, ou seja, encomendas não contempladas pelo MRP. Implicam ainda um posicionamento geográfico das suas lojas no coração das populações, de modo a proporcionar facilidade de acesso e conforto aos seus clientes.

Um exemplo recente da aplicação destes conceitos passa pela implementação de estratégia de promoções semanais na insígnia Pingo Doce, que se traduz numa seleção semanal de artigos com descontos temporários que são disponibilizados em quantidades muito superiores às comercializadas em situações não promocionais, requerendo uma flexibilidade ainda maior por parte da cadeia de abastecimento, pois a JM dispõe de um curto de espaço de tempo para planeamento das mesmas.

Com base no conceito de desenvolvimento sustentável incorporado na estratégia definida no grupo, todas as atividades da cadeia de abastecimento têm em consideração os seus impactos não só na dimensão económica, mas também sobre a sociedade e o ambiente envolventes. Como tal, a JM avalia a sustentabilidade da sua cadeia nas três diferentes áreas – dimensões económica, ambiental e social – utilizando métricas distintas. O desempenho económico é analisado segundo vendas “*like for like*”, comparação com períodos homólogos, margens comerciais e EBITA obtido. A dimensão ambiental é avaliada através de consumos de energia e água, produção de resíduos e emissões de carbono. Por fim, a componente social é examinada segundo o cumprimento do código de conduta estabelecido pela JM, não estando definidas métricas específicas para este desempenho (Jerónimo Martins, 2015d).

2.4. Descrição da Cadeia de Congelados da JM em Portugal

À semelhança do que sucede na restante cadeia de abastecimento da JM, a gestão da cadeia de produtos congelados combina os departamentos da Comercial, responsável pela seleção de fornecedores e estabelecimento de contratos, da *Supply Chain*, que supervisiona *stocks* e pedidos, ou seja, tem a seu cargo o reaprovisionamento da cadeia, e da Logística, que administra todo o processo abastecimento físico das lojas.

Esta cadeia de abastecimento, tal como esquematizado na anterior figura 3, interliga os fornecedores do sortido dos congelados aos consumidores finais, através dos centros de distribuição e dos diferentes canais de distribuição tanto a retalho como a grosso do grupo.

Nas subsecções posteriores é apresentada a classificação e agregação dos produtos congelados, e é exposto, detalhadamente, cada um dos intervenientes desta cadeia e as ligações entre os mesmos.

2.4.1. Produtos do sortido de congelados da JM

A cadeia de congelados apresenta os seus artigos agrupados em quatro diferentes famílias – padaria, talho, peixaria e Outros Produtos de Livre Serviço (OPLS) – dependendo da sua natureza. Para além desta classificação, é possível dividir os artigos em *fast* e *slow movers*, segundo a sua rotação de *stock* na cadeia, ou seja, em produtos em que o seu *stock* tem elevada ou baixa velocidade de rotação nos armazéns. Esta última denominação, tal como mostrado posteriormente, é de extrema relevância para a cadeia, pois orienta toda a atividade logística (Jerónimo Martins, 2015).

Dada a natureza dos produtos congelados, que apresentam uma validade elevada, quando comparados com os restantes produtos perecíveis comercializados pela JM, estes são aprovisionados em regime de *stock*, ou seja, o seu percurso supõe um período de armazenamento.

Sendo esta cadeia de natureza volátil, onde artigos se encontram em permanente mudança quer em níveis de consumo por produto, quer no tipo de artigos integrantes, existe uma considerável incerteza que torna a classificação e a consequente centralização dos mesmos um processo complexo e que exige uma revisão frequente, de modo a acompanhar a evolução dos padrões de consumo.

2.4.1.1.1. Classificação de artigos

Para melhor compreensão da rotação do sortido da atual cadeia de abastecimento dos congelados, realizou-se uma análise ABC, apresentada na figura 5, tendo por base o número de caixas movimentadas por artigo nos vinte e dois meses em estudo (período dos dados disponibilizados).

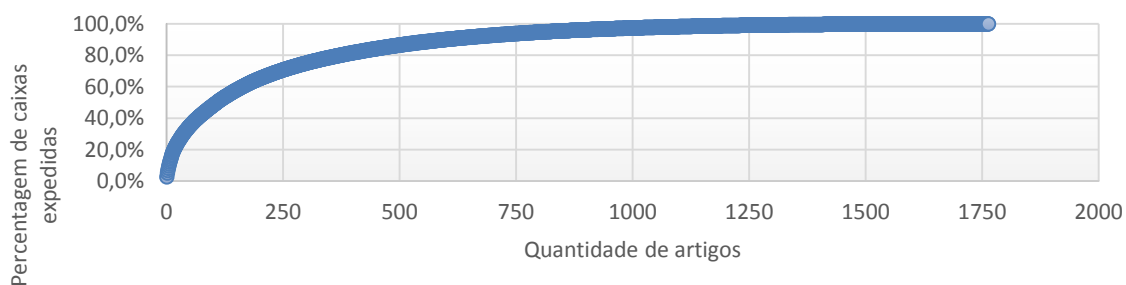


Figura 5: Análise ABC do sortido de congelados.

Esta análise permite concluir que cerca de 80% do total de caixas expedidas corresponde apenas a 20% do sortido, isto é, cerca de 350 artigos são responsáveis por mais de 20 milhões de caixas expedidas. Este conjunto de artigos define-se como a classe A, representando os *fast movers* da cadeia. Contudo, estes apresentam uma considerável variação nas quantidades expedidas, já que o artigo com maior número de caixas apresenta cerca de 600 000, enquanto o com o menor número, na classe A, apresenta uma movimentação um pouco superior a 17 000.

Os 30% seguintes da totalidade dos artigos denomina-se classe B. Neste caso engloba 530 artigos, dos quais foram movimentadas cerca de 5 milhões de caixas no período de estudo. Nesta classe, a classificação em *fast* ou *slow movers* torna-se um pouco mais complexa, já que existe uma diferença significativa entre os extremos do intervalo.

A classe C, que corresponde aos 50% finais do sortido, inclui cerca de 900 artigos que são responsáveis pela expedição de, aproximadamente, 1 milhão de caixas, com volumes por artigo entre 3 700 a 1 caixa. Os produtos desta categoria são, geralmente, catalogados como *slow movers*.

Embora seja possível realizar uma caracterização geral dos produtos, a aplicação da classificação em *fast* ou *slow movers* para a centralização nem sempre é possível. As diversas razões apontadas para tal englobam os locais em que os fornecedores entregam, *lead time* dos artigos, quantidades mínimas de compras impostas pelos fornecedores, a capacidade e número de lojas a abastecer por cada armazém, entre outras. Aumentando ainda a entropia de todo este processo, surge a política de promoções do grupo, que pode colocar um *slow mover* numa posição temporária de *fast movers*, tornando mais complexa a centralização dos artigos nestas situações. Do mesmo modo, com o sistema promocional, o processo de revisão da rotação do sortido torna-se mais confuso, já que as promoções poderão camuflar *slow movers* em *fast movers*.

2.4.2. Componentes da Cadeia de Abastecimento de Congelados da JM

Nesta secção retrata-se detalhadamente a cadeia de produtos congelados que circulam no setor de distribuição do grupo JM. Assim sendo, são apresentados os fornecedores, centros de distribuição e respetivos armazéns e as lojas, sendo descrito o seu papel e as relações entre os mesmos.

2.4.2.1. Fornecedores

Tal como mencionado anteriormente, a seleção de fornecedores está a cargo do Departamento Comercial, que desempenha esta função com base nos critérios de "...qualidade, capacidade de inovação, preço, capacidade de abastecimento, performance, confiança, continuidade e sustentabilidade ao longo do tempo." (Jerónimo Martins, 2015d). Neste processo de seleção são ainda discutidas as condições de fornecimento, que compreendem decisões e imposições como quantidades mínimas de encomenda e definição dos locais de entrega dos produtos. A seleção do local de entrega está condicionada pelos volumes entregues (os quais podem estar sujeitos a mínimos de compras previamente estabelecidos), motivado pelos limites de capacidade dos centros, e pelo tipo de produtos a entregar segundo a sua velocidade de rotação, respeitando a estratégia de centralização de produtos em vigor. Os horários de entrega (*timetables*) atribuídos aos fornecedores são definidos pela *Supply Chain* em parceria com a Logística, que tem como critério base os volumes a entregar, que devem ser

trabalhados de modo a atingir a maior eficiência do armazém, evitando picos de entregas.

Na atualidade, esta cadeia, como visível na tabela D.1 do Anexo D: Nacionalidade dos Fornecedores da Cadeia de congelados da JM Portugal, conta com 172 fornecedores de 1765 artigos, com origem em 14 países diferentes, dos quais se destaca Portugal com 110 parceiros, representando cerca de 64% do total de fornecedores. Além disso, é possível verificar a existência de apenas três fornecedores (2%) não europeus, sendo provenientes do Brasil e da Índia.

Dos valores apresentados na tabela do D.1, conclui-se que a maioria dos fornecedores tem presença física em Portugal, facto que se justifica pela adequação aos critérios de seleção e pelo objetivo da JM de promover o desenvolvimento dos setores económicos intimamente relacionados com a sua atividade, como a indústria, a agricultura e a pecuária, nos países onde opera, através de atividades com os seus parceiros (incluindo os fornecedores), melhorando a sua competitividade.

No caso dos fornecedores com presença física em Portugal (origem ou centro de distribuição), estes encontram-se dispersos por todo o território português, presentes em 16 distritos de Portugal continental e na Ilha da Madeira. Contudo, denota-se uma maior concentração nos distritos de Aveiro, Braga, Leiria, Lisboa, Porto, Santarém e Setúbal, que em conjunto representam cerca de 83% do total. Destaca-se ainda que Lisboa é o distrito com mais fornecedores, apresentando 50 fornecedores, o que se traduz em 45% da totalidade de fornecedores em Portugal. Este último valor pode ser justificado pela vantagem estratégica que Lisboa oferece, tal como qualidade de acessos, posição geográfica central e grande aglomerado populacional.

Agrupando os fornecedores segundo os centros do grupo onde entregam, é possível afirmar-se que, segundo este critério, a cadeia contempla 49 fornecedores que abastecem todos os centros, 59 que o fazem nas regiões Norte e Centro, 4 que abastecem as zonas Norte e Sul e 60 que o fazem apenas no Norte. A principal justificação para estes valores provém da política de centralização de produtos, onde apenas o armazém da região Norte detém todo o sortido de produtos congelados e os restantes armazenam somente os *fast movers* da cadeia.

Nesta cadeia, são ainda considerados dois “fornecedores” que são resultado de duas atividades internas do grupo: 1) atividade de transbordo proveniente do armazém de Vila do Conde, que abastece os armazéns das zonas Centro e Sul com artigos *slow movers*; 2) Pingo Doce Transformação (PD-Transformação), localizado no armazém do Centro, é responsável por atividades de compra de produtos congelados por parte do grupo, produtos estes que sofrem um processo de transformação, após aquisição, mas antes de integrarem a cadeia de abastecimento de congelados comum (ex: embalagem de artigos comprados a granel)

Destaca-se ainda, que, no conjunto de fornecedores de congelados do grupo, existem cerca de uma dezena, que no período de estudo, não realizaram qualquer entrega, cujo contrato ainda vigora.

2.4.2.2. Centros de Distribuição e Armazéns

Com a natureza dos produtos congelados a permitir o seu armazenamento por períodos consideravelmente prolongados, o regime de aprovisionamento desta cadeia de abastecimento consiste em *stock*. Assim, como representado na anterior figura 3, o processo no interior dos armazéns

de congelados subdivide-se em quatro etapas: receção, armazenamento, execução e posterior expedição. O armazenamento nesta cadeia ocorre num ambiente onde a temperatura deve ser no máximo a -22°C e a humidade baixa, de modo a conservar a qualidade dos artigos, exigindo assim características especiais aos armazéns desta cadeia. O grupo estabelece ainda que *stocks* em armazém devem ser suficientes para cobrir a procura dos diferentes artigos durante duas semanas em caso de falha no abastecimento por parte do fornecedor.

A cadeia de congelados compreende, atualmente, três armazéns nas regiões Norte, Centro e Sul. Na região Norte, no centro de distribuição de Vila do Conde, encontra-se o armazém “5508”, na zona Centro, no centro de distribuição do MARL, o grupo dispõe do armazém “5408” (instalação pertencente à Frigoservice, empresa com a qual a JM estabelece um contrato de *outsourcing* para a gestão deste armazém) e a Sul, no centro de distribuição de Algoz, o grupo conta com o armazém “5708”. As atividades desenvolvidas nestes armazéns são da responsabilidade da direção de Logística do grupo (com exceção do 5408, que são realizadas em parceria com a equipa do contrato de *outsourcing*) e encontram-se apoiadas no sistema MRP implementado, que permite gerir o fluxo de produtos da cadeia.

O “5508” foi o primeiro armazém da cadeia de congelados, sendo até 2010, responsável pelo armazenamento e consequente distribuição de todo o sortido de congelados para todas as superfícies comerciais do grupo. Atualmente, continua a ser o único centro que dispõe do sortido completo desta cadeia, contando com cerca de 1765 artigos provenientes de 172 fornecedores distintos. Este é responsável pelo fornecimento de todo o sortido às superfícies comerciais da região Norte, que inclui 151 lojas Pingo Doce, 13 superfícies Recheio, 1 Caterplus, 2 cozinhas do grupo e ainda os 2 Pingo Doce & Go. Sendo o único armazém do grupo que se armazena os *slow movers*, este abastece diariamente os armazéns das regiões Centro e Sul, por intermédio de uma atividade de transbordo, com esta categoria de produtos. Consequentemente, de segunda a sexta-feira, este armazém envia para as outras regiões dois carros (com capacidade de 33 paletes) de modo a abastecer os mesmos com artigos *slow movers*.

Devido à expansão das superfícies comerciais do grupo e do respetivo volume de vendas, surgiu a necessidade de existir um armazém que suportasse o abastecimento das regiões Centro e Sul de produtos *fast movers*. Assim, em 2010, o grupo estabeleceu um contrato *outsourcing* com a empresa Frigoservice, estabelecendo um armazém no MARL. Atualmente, circulam neste armazém 663 artigos provenientes de 110 fornecedores. Este centro é responsável pelo fornecimento de *fast movers* a 201 Pingo Doce, 18 Recheios, 1 Caterplus e 1 cozinha do grupo.

Com o contínuo crescimento do grupo, no início de 2014, foi adicionado à cadeia mais um armazém, em Algoz, para os artigos congelados, de modo a abastecer a região Sul com artigos *fast movers*, dispondo no seu sortido de 330 artigos que são fornecidos por 54 fornecedores. Assim, este centro tem a seu cargo 34 lojas Pingo Doce, 5 Recheios e 1 Caterplus.

Comparando os três armazéns, as diferenças surgem nas dimensões e espaços de *picking* e *buffer*, tal como representado na tabela 2. Assim, é possível verificar que o armazém da região Norte (“5508”), é, por larga diferença, o maior armazém desta cadeia, com uma área quatro vezes superior aos das

regiões Centro (“5408”) e Sul (“5708”) e, conseqüentemente, o primeiro apresenta o maior número de espaços tanto para *picking* (espaço de onde é possível recolher um determinado produto para um pedido), como para *buffer* (espaço onde os produtos recebidos são armazenados), apresentando um rácio de cerca de três *buffers* para um *picking*. À semelhança do “5508”, o armazém “5708” também apresenta um rácio de três para um, no entanto, o “5408” apresenta o dobro de tal razão, isto é, seis espaços de *buffer* para um de *picking*, o que pode ser motivado pela existência de *racks* móveis no interior desta instalação. Esta característica do “5408” potencia um maior armazenamento em zonas de menor dimensão, já que a movimentação das *racks* permite que estas estejam muito próximas entre si, e apenas se afastem quando necessário. Este fator dimensão é também de relevância para esta cadeia, visto tratar-se de produtos congelados que têm de ser trabalhados a temperaturas muito baixas, o que representa elevados consumos energéticos que são minorados em espaços mais reduzidos.

Tabela 2: Caracterização dos armazéns de congelados da JM (Jerónimo Martins, 2015).

	5408	5508	5708
Área	1.600 m ²	6.000 m ²	1.250 m ²
Espaços de <i>picking</i>	400 paletes	1.456 paletes	270 paletes
Espaços de <i>buffer</i>	2.516 paletes	4.233 paletes	810 paletes

Ainda, é possível distinguir os três armazéns quanto às tecnologias de *picking* utilizadas *in house*. Os formatos de *picking* utilizados incluem o *voice picking* e o *picking* manual. A primeira tecnologia é disponibilizada nos armazéns que o grupo detém, ou seja, nas regiões Norte e Sul, traduzindo-se, em norma, numa operação mais eficiente e eficaz, já que toda a sua atividade é transmitida via áudio, passo a passo, e só avança quando o trabalhador dá por concluída e confirmada cada etapa. O outro armazém da cadeia, “5408”, recorre ao *picking* manual, isto é, o pedido encontra-se descrito numa folha de papel que o trabalhador vai riscando à medida que retira os produtos indicados, o que torna o processo mais lento e suscetível de erros, visto o trabalhador poder, por exemplo, facilmente falhar o local correto de *picking*, já que a confirmação não é obrigatória para proceder com o pedido.

Em cada armazém, denota-se ainda padrões distintos de horários de entrega dos fornecedores, já que estes consideram as características do armazém de entrega (horário de receção e capacidade), o tipo de artigo e as quantidades de entrega, evitando picos de volumes de entrega que possam prejudicar toda a operação em armazém. Deste modo, o 5508 faz a receção de produtos entre as 00:00 e as 8:59 de segunda a sexta, dispondo uma hora para a descarga de cada fornecedor. Neste armazém verifica-se que o número de *slots* disponíveis para entregas por fornecedor varia entre uma vez a 5 vezes por semana, consoante a dimensão do fornecedor para o grupo. Caracterizando o 5408, a receção ocorre de segunda a sexta, entre as 05:00 e as 12:59, e, mais uma vez, segundo a dimensão do fornecedor, estes dispõem entre 1 a 5 *slots* para entregas semanais. No 5708, as entregas são realizadas nos mesmos dias, no entanto, o período diário em que esta atividade decorre encontra-se disperso ao longo do dia, realçando-se o caso de fornecedores pertencentes ao grupo, PD-Vila do Conde (armazém de congelados da região Norte) e PD-Transformação (parte do armazém da região Centro), que dispõem de total liberdade de horário para entrega nos 5 dias.

2.4.2.3. Clientes

A cadeia de congelados fornece produtos a todos os canais de distribuição do grupo, quer a retalho ou grosso. Assim, todas as superfícies comerciais descritas previamente são abastecidas por intermédio do centro responsável pela região onde se localizam.

Este processo de abastecimento, nas condições regulares não incluindo as situações promocionais é gerido por intermédio do MRP, que prevê as necessidades das lojas e realiza os pedidos aos armazéns, pedidos estes que podem ser modificados pelas próprias lojas, respeitando os limites horários (cada loja dispõe de um horário semanal em que pode realizar os seus pedidos) e de quantidades definidas, antes de serem enviados para os centros. Os pedidos das diversas lojas são então processados ao nível dos centros que, mediante o seu *stock*, tentam dar resposta aos mesmos e expedem os produtos até às lojas.

A fase de expedição de pedidos dos armazéns para as lojas acontece segundo uma agenda previamente estipulada, de forma a ir ao encontro do horário de receção de cada loja. Estes pedidos devem então ser entregues em dias e janela horária específicos, de modo a facilitar o trabalho em loja e, no caso de lojas com maior limitação no acesso, a ser possível a entrega em horários de menor tráfego. Deste modo, a cadeia contempla 18 cenários de entrega distintos, onde os dias de entrega variam entre 3 a 6 por semana, mediante as necessidades e capacidade das lojas, que é limitada pelo espaço nas arcas de congelados. Em situação normal, as lojas podem ainda realizar pedidos extra, que, na maioria dos casos, aumenta a complexidade do planeamento e processamento em armazém, e conseqüente transporte.

Com o sistema promocional, o MRP é inviabilizado e o pedido é efetuado com base no histórico disponível, nas quantidades disponibilizadas e na dimensão/capacidade da loja. Tendo em atenção estas restrições, cada loja realiza o seu pedido, podendo mesmo, caso haja *stock* para tal, permutar capacidades (que estão previamente definidas em situação regular) entre as quatro famílias de produtos, abdicando, por exemplo, de uma maior capacidade da OPLS para obter espaço para a Peixaria, que em tal período se encontra com considerável volume promocional. Para satisfazer a procura das promoções sem comprometer a capacidade das lojas, ao longo da semana, são ainda efetuados reforços, ou seja, as lojas recebem os produtos promocionais ao longo dos diferentes dias em conjunto com os pedidos regulares.

2.5. Caracterização do Problema

Na atualidade, a cadeia de congelados do grupo apresenta como principais desafios a classificação de artigos em *fast* ou *slow mover* e a sua conseqüente centralização, assim como as capacidades dos três centros de distribuição que, correntemente, se encontram no seu limite, podendo pôr em causa o nível de serviço da cadeia com o futuro crescimento do volume de vendas. Apesar da cadeia de congelados apresentar um menor volume de caixas movimentadas quando comparada com outros tipos de produtos comercializados pelo grupo, esta dispõe de um sortido que inclui perto de 2000 artigos distintos, provenientes de cerca de duas centenas de fornecedores, justificando a complexidade da tomada de decisões quanto à estrutura e funcionamento da cadeia.

Outra condicionante que esta cadeia enfrenta passa pelo sistema promocional, pois consistindo num mecanismo de curto prazo, variando semanalmente e com um período de preparação de cerca de quatro semanas, torna-se insustentável o controlo e previsão de pedidos através de qualquer *software* (ao contrário da situação regular, que se encontra devidamente apoiada pelo MRP). Este sistema provoca, ainda, dificuldades na classificação, e conseqüente centralização, dos diversos artigos devido à volatilidade de quantidades vendidas em períodos dentro e fora de promoções.

O presente trabalho tem por base a necessidade da JM em explorar novas alternativas para a sua cadeia de abastecimento de congelados no plano estratégico-tático, subentendendo uma reestruturação física da mesma. A JM pretende estudar opções de otimização da sua cadeia que se traduzam numa maior eficiência, menores custos e com impactos ambientais e sociais benéficos.

Desta forma, o problema em estudo consiste na determinação do número de armazéns ótimo, com respetiva localização, dimensão e artigos centralizados, de modo a satisfazer as necessidades, atuais e futuras, da cadeia de congelados nacional do grupo.

Assim, na dissertação, será desenvolvido um modelo matemático por forma a alcançar uma solução otimizada para o problema em causa e serão analisados cenários com diversas localizações possíveis, contemplando diferentes conjuntos de centros, onde as capacidades e artigos centralizados serão variados. Posteriormente, na elaboração da dissertação, estes cenários serão analisados e comparados mediante o modelo construído, culminando com a apresentação da solução mais adequada nas circunstâncias estudadas.

2.6. Conclusões do Capítulo

A JM destaca-se no setor da distribuição de bens alimentares quer como grossista, quer como retalhista, apresentando a insígnia Pingo Doce como o principal motor nacional do grupo.

A sua cadeia nacional inclui os fornecedores, os seus centros de distribuição e as superfícies comerciais das diferentes insígnias do grupo, que conectam a empresa ao consumidor final. Esta apresenta a distribuição seccionada em três regiões, Norte, Centro e Sul, contendo cada uma os seus centros de distribuição responsáveis pelo abastecimento das lojas na sua região.

A cadeia de congelados da JM, em Portugal, compreende três armazéns, um por região, nos quais os produtos são armazenados e posteriormente enviados para as lojas segundo os pedidos das mesmas. O sortido de congelados encontra-se dividido em quatro famílias e classificado segundo a velocidade de rotação em armazém. Apenas o armazém do Norte dispõe do sortido completo, sendo que nos restantes apenas são armazenados os artigos classificados como *fast movers*.

O problema em estudo tem por base a otimização da cadeia de congelados do grupo através da reestruturação física dos centros de distribuição e do sortido movimentado nos mesmos, de modo a alcançar um desempenho sustentável nas dimensões económica, ambiental e social, fazendo face às necessidades da cadeia no presente e futuro. Deste modo, serão analisados diferentes cenários com possíveis localizações e capacidades de armazéns e definição dos artigos movimentados nos centros de distribuição, considerando as diversas características da cadeia.

Capítulo 3 – Revisão Bibliográfica

Este capítulo consiste na revisão do estado da arte relevante para o problema em análise. Na secção 3.1 descreve-se a metodologia seguida na presente revisão e as suas conclusões globais. A secção 3.2 remete para a evolução do conceito de cadeia de abastecimento tendo em consideração a sustentabilidade da mesma, nas várias dimensões. Na secção 3.3 é analisada a modelação de cadeias de abastecimento sustentáveis, investigando-se as técnicas e métricas utilizadas e os fatores incluídos. Destaca-se ainda o foco na modelação matemática como base para *design* e planeamento de uma cadeia de abastecimento sustentável, sendo que o problema em estudo consiste na reestruturação física da atual cadeia de congelados da JM. Na secção 3.4 apresenta-se uma revisão do conceito de cadeias de abastecimento sustentável no setor alimentar. O capítulo encerra com a suma das principais conclusões obtidas da revisão bibliográfica realizada (secção 3.5).

3.1. Metodologia e análise descritiva da revisão bibliográfica

Para a revisão da literatura realizada neste trabalho, a identificação de artigos foi elaborada através de uma pesquisa estruturada com palavras-chave em motores de busca de publicações como Google Scholar, Wiley Online Library, Emerald Insight e Elsevier ScienceDirect, sendo que este último corresponde à principal fonte da bibliografia analisada, pois permite livre acesso aos alunos do Instituto Superior Técnico. Na pesquisa, descrita na tabela E.1 do Anexo E – Número de artigos segundo as palavras-chave usadas nos diferentes motores de busca., as palavras-chave como “*supply chain*” foram combinadas com outras palavras-chave: “*review*”, “*models*”, “*optimization*”, “*framework*”, “*sustainable*”, “*green*” e “*closed-loop*”, obtendo assim uma base para a revisão bibliográfica. Posteriormente, foram selecionados os artigos de interesse para o trabalho em causa, sendo estes avaliados com maior detalhe, permitindo a classificação dos mesmos segundo metodologia (revisão, modelação, caso de estudo, análise de decisão, *framework* e estudo conceptual), nível de decisão abordado no problema da cadeia de abastecimento (estratégico, tático e operacional) e definição de cadeia de abastecimento (sustentável, verde e “*closed-loop*”). Com este processo pretende-se então compreender a formulação e evolução do conceito de cadeia de abastecimento sustentável nas mais diversas vertentes, de modo a suportar o desenvolvimento de um modelo de otimização para o presente caso de estudo.

Na atual revisão bibliográfica foram analisados 73 artigos, provenientes da base obtida inicialmente. Neste estudo os artigos provêm de diversas publicações, e assim como apresentado na figura 6, é possível realçar as revistas, onde existem mais publicações na área, como por exemplo o *Journal of Clean Production*, *International Journal of Production Economics* e *European Journal of Operational Research*, que, em conjunto, incluem cerca de 40% dos artigos estudados.

Cronologicamente, os artigos foram publicados entre 1987 e 2016. Tal como se pode verificar na figura 7, apesar do amplo intervalo de tempo, identifica-se uma maior concentração na última década, destacando-se os anos de 2012 a 2015, que perfazem cerca de 63% da totalidade dos artigos estudados, valor que pode ser justificado pela maior atenção dedicada recentemente às cadeias de

abastecimento sustentáveis. Na direção oposta, os artigos estudados com publicação nas últimas décadas do século XX focam, na sua maioria, as definições iniciais de conceitos relevantes.

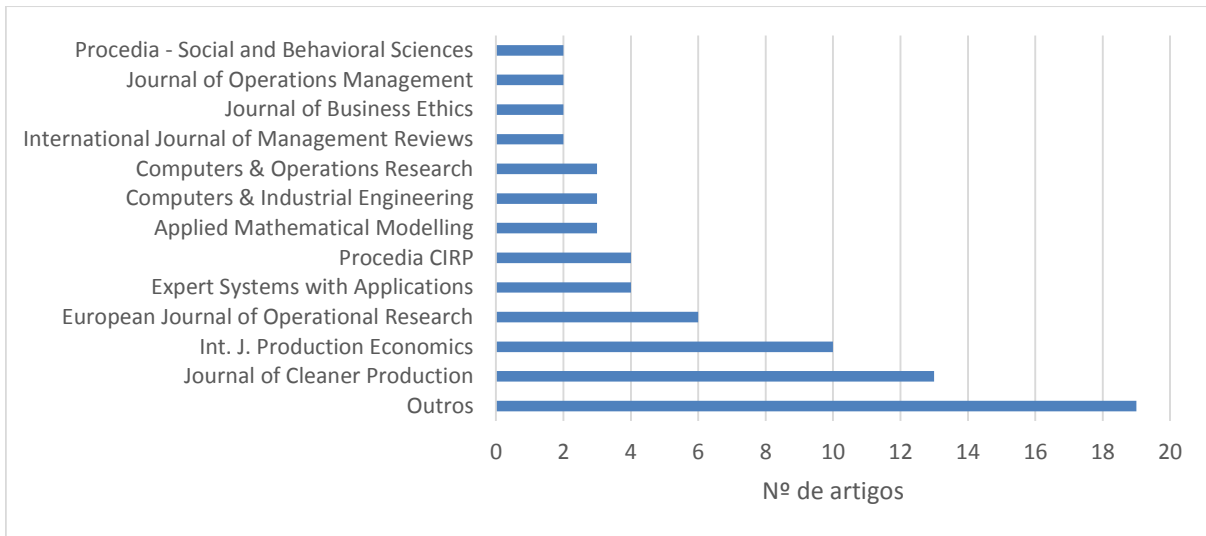


Figura 6: Publicações dos artigos estudados.

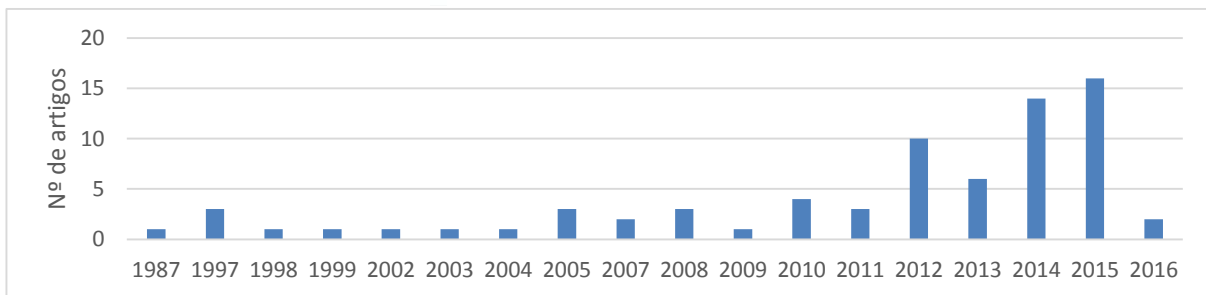


Figura 7: Ano de publicação dos artigos da presente revisão bibliográfica.

Foram ainda investigadas as nacionalidades das instituições de afiliação do primeiro, ou único autor, quando desenvolveram o artigo. Por conseguinte, e como demonstrado pela figura 8, os EUA e o Canadá destacam-se dos restantes países com 13 e 10 artigos, respetivamente. Também na figura 8, observa-se que, na Europa, a Alemanha (6 artigos) e Portugal (5 artigos) prevalecem, e que a Índia se assume como principal nação no continente asiático, com três artigos. Revela-se ainda a dominância da origem europeia, com mais de 50% dos artigos revistos.

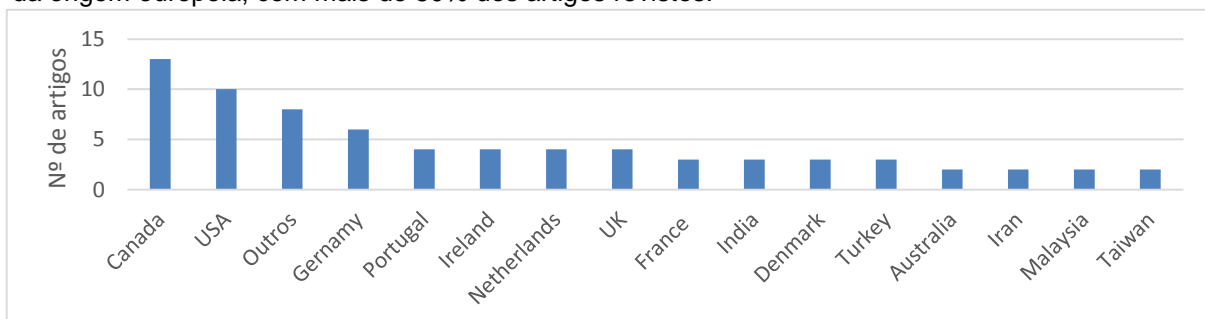


Figura 8: Revisão segundo a nacionalidade da instituição de afiliação do 1º autor.

3.2. Cadeias de Abastecimento Sustentáveis

3.2.1. Cadeias de abastecimento:

Segundo Ganeshan & Harrison (1995), cadeia de abastecimento consiste numa rede de instalações e

opções de distribuição que desempenha as funções de compra de matérias, transformação destas em produtos intermédios ou finais, e a distribuição destes mesmos produtos aos consumidores. Handfield & Nichols (1998) definem ainda cadeia de abastecimento como um conjunto de fluxos de materiais e de informação, que circulam em sentidos contrários, isto é, o fluxo de materiais inicia no fornecedor e segue até ao consumidor final e o fluxo de informação segue o percurso reverso (Seuring & Martin, 2008). Chopra & Meindl (2003) reforçam que a cadeia de abastecimento incluiu todas as fases ligadas direta ou indiretamente à satisfação da necessidade do cliente, incluindo não só fornecedores e produtores, como também transportadores, armazéns, retalhistas e os clientes.

Com o conceito de cadeia de abastecimento, surge no final do século XX, a definição de gestão da cadeia de abastecimento como o planeamento e controlo de fluxos de materiais e informação, e das atividades logísticas internas à organização (Cooper et al., 1997). Designação que evoluiu de modo a focar as preocupações que foram surgindo nas atividades desempenhadas ao nível das cadeias de abastecimento, entre as quais o risco, o desempenho, a integração, as relações das redes internas e externas à cadeia e a regulamentação legal das redes de abastecimento (Ahi & Searcy, 2013). Mantendo, no entanto, o ênfase na coordenação interna das organizações de forma a responder às necessidades dos *stakeholder*, em particular dos consumidores, com o intuito de melhorar o desempenho global e a eficiência, gerar valor e alcançar uma vantagem competitiva sustentável.

Durante anos, na literatura, as diferentes atividades associadas às cadeias de abastecimento foram estudadas individualmente. Contudo, recentemente, o foco da investigação tem incidido no desempenho e *design* da cadeia como um todo, motivando o desenvolvimento do conceito de cadeia de abastecimento (Beamon, 1998; Linton et al., 2007). Esta evolução tem sido promovida pelas alterações do ambiente industrial, refletindo a redução da disponibilidade de recursos, a diminuição do ciclo de vida dos produtos, a globalização dos mercados, o aumento da exigência sobre o desempenho económico sem negligenciar as suas responsabilidades sociais e ambientais sobre os seus parceiros, e as pressões internas e externas resultantes da consciencialização da importância dos impactos ambientais e sociais destas atividades (Seuring et al., 2008; Mota et al., 2015).

A acompanhar a atual problemática tendência do desenvolvimento económico global para danificar a natureza, prejudicar a saúde humana e aumentar a desigualdade social, destaca-se a crescente atenção dada ao conceito de sustentabilidade (Boukherroub et al., 2015). Em particular, o aumento de pressões na direção da sustentabilidade por parte de entidades como governos e *stakeholders* das mais diversas empresas (Seuring & Martin, 2008), incluindo os consumidores finais que representam o centro do negócio, visto todas as empresas terem principal objetivo a satisfação das necessidades dos clientes, mantendo o menor custo possível (Mota et al., 2015).

3.2.2. Sustentabilidade

Apesar da antiguidade do conceito de sustentabilidade, apenas em 1987, na WCED (*World Commission on Environment and Development*), comissão desenvolvida para unir os países de modo a promover o desenvolvimento sustentável, surgiu a primeira definição global de desenvolvimento sustentável, como sendo o desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem as suas.

Com a generalidade de tal definição, na literatura surgem inúmeras designações para sustentabilidade do ponto de vista empresarial (sustentabilidade do negócio). De modo genérico, esta consiste na resiliência das organizações ao longo do tempo, estando associada a sistemas económicos, ambientais e sociais saudáveis, que permitam obter uma melhor posição para resposta a possíveis choques internos e externos (Ahi & Searcy, 2013). Conceito este que é suportado por autores como Kleindorfer et al. (2005), Bansal (2010), Hassini et al. (2012), Kang et al. (2012). Elkington (1997) e, mais tarde, Steurer et al. (2005) relacionam a sustentabilidade corporativa como o esforço das empresas realizarem um percurso que seja ambiental e socialmente responsável. Este último conceito contempla ainda elementos como o foco nos *stakeholders* e na CSR (*Corporate Social Responsibility*) que, segundo Van Marrewijk (2003), designa as atividades da empresa que demonstram a inclusão de aspetos ambientais e sociais nas operações empresariais e na interação com os seus *stakeholders*.

Muitas das definições relacionadas com o conceito de sustentabilidade têm por base o conceito TBL (*Triple Bottom Line*) (Elkington, 1997). Este princípio reconhece os três pilares a considerar para alcançar um desenvolvimento sustentável: lucro, planeta e pessoas (Hassini et al., 2012). A sustentabilidade surge assim através da interseção dos objetivos das dimensões económica, ambiental e social. A dimensão económica corresponde à satisfação das necessidades dos *stakeholders* de modo eficaz e eficiente; a ambiental está relacionada com a minimização do lixo, a redução de emissões poluentes e a proteção dos recursos naturais; por fim, a social integra a segurança e saúde dos trabalhadores e o respeito pelos direitos humanos da população geral (Tascioglu, 2015).

Os artigos selecionados nesta revisão bibliográfica analisam a cadeia de abastecimento segundo uma ou mais das três dimensões da sustentabilidade. Como observável na figura 9, toda a literatura estudada integra a dimensão económica, quer de modo isolado, quer em conjunto com as restantes dimensões. A maioria dos trabalhos (56%) considera o impacto das cadeias de abastecimento nas três dimensões (sendo o foco do presente trabalho) e cerca de 28% foca a sua investigação nos aspetos económicos e ambientais das mesmas. Os restantes artigos analisam as dimensões económica e social (4%) ou apenas a económica (12%).

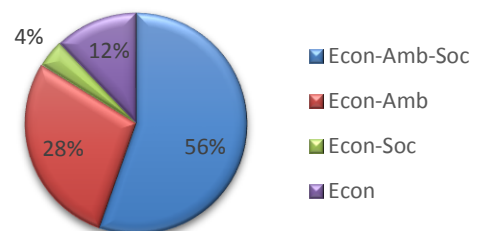


Figura 9: Dimensões da sustentabilidade abordadas na bibliografia.

3.2.3. Integração de cadeias de abastecimento e sustentabilidade

Com a introdução do conceito de sustentabilidade no setor industrial começou a verificar-se a integração deste conceito ao nível das cadeias de abastecimento ena sua gestão (Kang et al., 2012). Assim, os investigadores têm procurado ampliar o conceito de cadeia de abastecimento tradicional, surgindo os conceitos de logística inversa e cadeia de abastecimento “*closed-loop*”.

Logística inversa, segundo *American Reverse Logistics Executive Council*, é definida como o processo de planeamento, implementação e controlo eficiente e eficaz de fluxos de matérias-primas, inventário intermédio, produtos acabados e da informação relacionada desde o ponto de consumo até à origem, de modo a recolher valor e/ou a realizar a devida alienação dos diversos materiais. Fleischmann et al. (1997) reforça a definição com a inclusão de todas atividades desde os produtos usados já sem

utilidade para o consumidor até aos produtos novamente comercializáveis. Este processo inicia nos consumidores finais, onde os produtos usados são recolhidos e, posteriormente, tratados através de diferentes estratégias tais como reciclagem (de modo a obter mais matéria-prima), remanufactura (para revenda em mercados secundários ou, se possível aos consumidores primordiais), reparação (para revenda nos mercados secundários) e, finalmente, alienação de algumas partes usadas (Amin & Zhang, 2012; Govindan et al., 2015).

A combinação desta cadeia inversa com a cadeia de abastecimento tradicional resulta numa rede denominada cadeia de abastecimento “*closed-loop*”. Apesar do aumento de complexidade na cadeia associada a esta união, na literatura demonstra-se que as cadeias de abastecimento devem ser consideradas como um ciclo fechado, contemplando a circulação dos fluxos de materiais e informação em ambas as direções para alcançar um melhor planeamento da mesma (Mota et al., 2015). A gestão destas cadeias de abastecimento consiste na conceção, controlo e operação de um sistema de modo a maximizar a criação de valor ao longo de todo o ciclo de vida de um produto com recuperação dinâmica de valor das retomas ao longo do tempo (Guide & Van Wassenhove, 2009).

Na última década, com a crescente atenção dada à degradação ambiental, à diminuição da disponibilidade dos recursos e à gestão ineficiente dos resíduos, grande parte do estudo das cadeias de abastecimento tem incidido sobre a dimensão ambiental, resultando na definição das cadeias de abastecimento verdes. Em comparação com as cadeias de abastecimento tradicionais, este conceito assume uma abordagem baseada em normativas ambientais, sendo motivada pela conquista do desenvolvimento sustentável. Consequentemente, a gestão de cadeias de abastecimento verdes consiste na integração do pensamento ambiental na sua gestão, incluindo o *design* do produto, seleção e fornecimento dos materiais, processos de produção e entrega do produto final ao consumidor, e a gestão dos produtos no fim da sua vida útil (Srivastava, 2007). Zhu & Sarkis (2011) reforçam que esta gestão inclui as preocupações ambientais em todas as suas práticas da cadeia de abastecimento, as quais compreendem também as atividades associadas à logística inversa.

Com o exponencial crescimento da atenção dada ao desenvolvimento sustentável, a mais recente tendência destacada na literatura passa pela integração das três dimensões da sustentabilidade nas cadeias de abastecimento e, por conseguinte, na gestão das mesmas. Com a aplicação do conceito TBL associado às mais recentes definições de sustentabilidade, é possível, às organizações, classificar os diversos elementos de mudança e risco a que estão sujeitos segundo as dimensões económica, ambiental e social, permitindo uma melhor abordagem dos problemas que possam advir. Na dimensão económica estão incluídas, por exemplo, as alterações do cenário económico no qual a organização se enquadra, desastres naturais que a possam afetar e o desenvolvimento e a atividade da concorrência. Na dimensão ambiental consideram-se a crescente importância da proteção do ambiente a nível mundial, do desenvolvimento verde e as regulamentações governamentais de acordo estes fatores, o que se tem traduzido em preocupações com o impacto do design de produtos e dos processos inerentes às cadeias de abastecimento. A dimensão social, corresponde ao facto das organizações se enquadrarem numa cultura e sociedade nas quais são responsáveis pelo desenvolvimento equilibrado através do bem-estar e retorno, como tal a atividade desenvolvida não deve ser em prol apenas dos

objetivos da empresa, mas também de toda a sociedade que esta influencia (Kang et al., 2012).

Surge assim o conceito de cadeias de abastecimento sustentáveis que apresenta a integração das diversas preocupações associadas às dimensões económica, ambiental e social nas suas atividades. Nas cadeias de abastecimento sustentáveis, critérios ambientais e sociais precisam de ser satisfeitos pelos membros da cadeia de modo a manter-se na mesma, enquanto se espera que a competitividade seja mantida através da satisfação das necessidades dos clientes e do critério económico associado (Seuring et al., 2008). Por conseguinte, a gestão de cadeias de abastecimento sustentáveis consiste na gestão de fluxos de materiais, informação e capital, e também na cooperação entre as empresas ao longo da cadeia de abastecimento, tendo em consideração objetivos das dimensões do desenvolvimento sustentável, que são derivados dos requisitos dos *stakeholders*, em particular dos consumidores (Seuring & Martin, 2008).

Com esta definição, o grau de complexidade das cadeias de abastecimento aumenta consideravelmente, visto que o conceito de sustentabilidade integra uma perspetiva intergeracional, multidimensional e com diferentes escalas. A componente intergeracional restringe as atividades desenvolvidas atualmente na cadeia de modo a garantir que as gerações futuras não são negativamente impactadas. A multidimensionalidade corresponde ao esforço requerido para equilibrar as três dimensões da sustentabilidade. O foco nas diferentes escalas contempla as escalas geográficas, institucionais e temporais que devem ser tidas em conta no desempenho da cadeia de abastecimento. Ou seja, o conceito de sustentabilidade tem sido aplicado a regiões e países, organizações individuais ou grupos e no curto e longo prazo (Seuring et al., 2008). Seuring (2012) refere ainda que é o balanço entre os três pilares da sustentabilidade que oferece o maior desafio desde o nível estratégico ao operacional, sendo o pilar social que tem sido menosprezado continuamente na literatura. Destaca também que existe um longo caminho a percorrer para alcançar a cadeia de abastecimento sustentável tal como definida anteriormente.

Considerando as diferentes definições de cadeia de abastecimento na literatura, os artigos selecionados para a presente revisão do estado da arte foram classificados segundo as seguintes definições: 1) cadeias de abastecimento tradicionais, que, por norma, apenas consideram o desempenho económico; 2) cadeias de abastecimento “*closed-loop*” e a logística inversa, onde é realçado o proveito possível de obter no percurso inverso da cadeia, podendo ser analisado o seu impacto nas demais dimensões da sustentabilidade; 3) cadeias de abastecimento definidas como verdes, que além de integrarem a dimensões económica, demonstram uma preocupação acrescida com o seu impacto ambiental; 4) cadeias de abastecimento sustentáveis, que incluem as dimensões económica, ambiental e social. Segundo esta classificação, verificou-se a distribuição dos artigos presente na figura 10. Nesta imagem, destaca-se a dominância dos artigos que incluem a definição de cadeia de

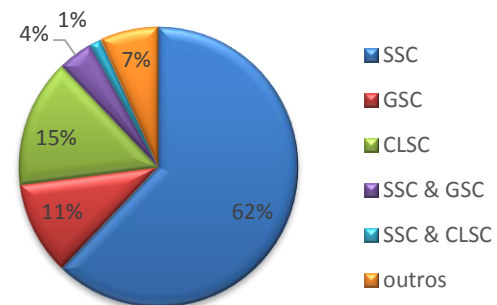


Figura 10: Estado da arte segundo a definição de cadeia de abastecimento considerada.

abastecimento sustentável, visto 62% da totalidade de artigos estudados considerar apenas esta definição e cerca de 6% considerar esta definição em conjunto com as de cadeias de abastecimento verde e “closed-loop”, perfazendo 67% do total da revisão.

Os artigos analisados foram ainda agrupados de acordo com a metodologia aplicada, sendo esta classificação realizada considerando seis categorias: 1) revisão do estado da arte; 2) estudo concetual; 3) desenvolvimento de *framework*; 4) análise de decisão; 5) desenvolvimento de um modelo matemático; 6) caso de estudo. Refere-se também o facto de ser comum o trabalho desenvolvido nos artigos analisados se enquadrar em duas ou mais categorias. Deste modo, como representado na figura 11, é observável que a categoria de revisão é dominante, constituindo cerca de 35% dos artigos totais.

Entre as restantes classes, destacam-se também a da modelação, sendo o foco de 19% dos artigos estudados, e os trabalhos com foco em mais do que uma categoria, que perfazem 26% dos documentos tratados (nos quais cerca de 50% apresentam modelação e caso de estudo). Em seguida, as diversas categorias são comentadas individualmente, de modo a detalhar a revisão realizada.

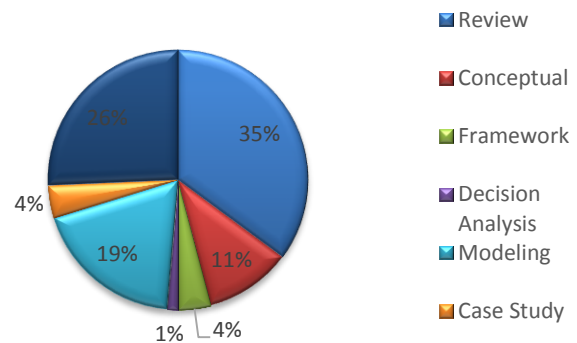


Figura 11: Estado da arte segundo a metodologia apresentada nos diferentes artigos.

Categoria “Revisão Sistemática da Literatura”:

Analisando os trabalhos que têm como foco a elaboração de uma revisão do estado da arte, segundo o conceito de cadeia de abastecimento considerado, constata-se que as cadeias de abastecimento sustentáveis predominam como temática, sendo contempladas em mais de 70% dos artigos. As restantes investigações da literatura remetem para os conceitos de logística inversa (Fleischmann et al., 1997), também com foco na modelação das mesmas; cadeia de abastecimento tradicional (Beamon, 1998; Min & Zhou, 2002), nos quais os autores se dedicam ao estudo da evolução da modelação das mesmas; cadeia de abastecimento “closed-loop” (Govindan, 2015), trabalho no qual os autores estabelecem o paralelismo deste conceito de cadeia de abastecimento com o ideal de logística inversa; finalmente, cadeia de abastecimento verde, onde são contemplados trabalhos de revisão da evolução do conceito de modo geral (Srivastava, 2007), das contribuições da investigação operacional no desenvolvimento deste tipo de cadeia (Dekker, 2012) e da aplicação do modelo SCOR (*supply chain operations reference*) na dimensão ambiental das cadeias de abastecimento (Ntabe et al., 2015). Referente ao estudo da evolução desta definição de cadeia de abastecimento verde destaca-se ainda o trabalho de Ahi & Searcy (2013), no qual esta investigação surge em paralelo com o desenvolvimento do conceito de cadeia de abastecimento sustentável, sendo estabelecida uma constante comparação entre as diferentes definições destes conceitos ao longo do tempo.

Examinando os artigos que revêm a literatura abordando o conceito de cadeia de abastecimento sustentável, é possível observar uma considerável dispersão no foco dos mesmos. Alguns autores facultam uma visão ampla do tema, estudando o conceito de desenvolvimento sustentável e a sua integração do ponto de vista de negócio (Steurer et al., 2005) e, conseqüentemente, em cadeias de

abastecimento (Vachon & Maoc, 2008), realçando a relação entre as características de abastecimento e o desenvolvimento sustentável, em fatores como os fornecedores, consumidores, práticas e regulamentação ambiental e social, e desempenho económico dos países onde se enquadram. Kleindorfer (2005) relaciona também a integração do conceito de sustentabilidade na gestão das operações nas cadeias.

Ainda, num contexto global, surgem revisões sobre a evolução das cadeias de abastecimento sustentáveis nas diferentes dimensões, considerando indicadores de desempenho (Seuring et al., 2008), as aplicações na indústria e serviços (Gunasekaran e Gallear, 2012; Tascioglu, 2015), com destaque no setor alimentar (Beske et al., 2013; Turi et al., 2013; Li et al., 2014), e a gestão da cadeia de modo a obter produtos sustentáveis e dos fornecedores, minorando os riscos da cadeia, com a sugestão de uma *framework* conceptual (Seuring & Martin, 2008), sendo comum a indicação de falta de investigação na literatura quanto à dimensão social da sustentabilidade.

Evidenciando o estudo de áreas relevantes das cadeias de abastecimento sustentáveis, são analisadas a implementação do pensamento sustentável nas cadeias de abastecimento, com base nas relações fornecedor/comprador ao longo da mesma (Kumar & Rahman, 2015), e a relevância da complexidade da empresa foco da cadeia de abastecimento em termos da adoção de medidas sustentáveis por parte de todos os *stakeholders* (Frostenson & Prenekert, 2014). Trabalhos como Hassini et al. (2012) e Ahi & Searcy (2014) revêm ainda as diferentes métricas de avaliação de desempenho que têm sido utilizadas na literatura, sendo que Hassini et al. (2012) complementa o seu estudo propondo uma *framework* conceptual para definição de métricas adequadas nas três dimensões da sustentabilidade, e Ahi e Searcy (2014) foca a dimensão ambiental.

Nesta categoria, destacam-se ainda as revisões da literatura sobre o desenvolvimento da área de investigação operacional quanto à evolução de ferramentas de apoio à decisão e modelação da integração deste conceito (Gupta & Palsule-Desai, 2011) e quanto à integração da sustentabilidade nas cadeias de abastecimento ao nível estratégico-tático das mesmas (Tang & Zhou 2012; Govindan, 2015). Incluem-se também revisões de abordagens para a modelação com foco na direção tradicional da cadeia de abastecimento, sendo realçado a pouca atenção dedicada às mesmas nos mais diversos trabalhos (Seuring, 2012; Brandenburg, 2013), e da modelação e otimização da network-design das cadeias de abastecimento nas diversas dimensões (Eskandarpour et al., 2015). Linton et al. (2007) investiga a progressão do foco da otimização do ponto de vista local para o global.

Categoria “Conceptual”:

Na presente revisão, os artigos enquadrados no desenvolvimento de conceitos refletem definições como desenvolvimento sustentável (Brundtland, 1987), cadeia de abastecimento e gestão de cadeia de abastecimento (Cooper, 1997; Handfield & Nichols, 1999), TBL (*Triple Bottom Line*) (Elkington, 1997; Gimenez, 2012), responsabilidade social corporativa (CSR – *Corporate Social Responsibility*) (Van Marrewijk, 2003), cadeia de abastecimento verde (Zhu & Sarkis, 2004), cadeia de abastecimento “*closed-loop*” (Guide & Van Wassenhove, 2009) e sustentabilidade de negócio (Bansal, 2010). Conceitos estes que são fundamentais para a compreensão do tema central deste trabalho, isto é, as cadeias de abastecimento sustentáveis e a sua gestão.

Categoria “*Framework*”:

Nos artigos que se focam apenas no desenvolvimento de uma *framework*, são sugeridas *frameworks* para avaliar o desempenho da gestão das cadeias de abastecimento (Chardine-Baumann & Botta-Genoulaz, 2014), para desenvolver estratégias de gestão de cadeias de abastecimento sustentáveis (Kang et al., 2012) e para incorporar uma estratégia de otimização sustentável em modelos de design de cadeias de abastecimento como TTS (*time-to-sustainability*) (Kannegiesser et al., 2015), que considera a TBL e minimiza o tempo para alcançar os valores objetivos nas diferentes dimensões. Nos restantes artigos que também desenvolvem uma *framework*, o objetivo da mesma centra-se, na maioria dos casos, na integração de estratégias sustentáveis na cadeia de abastecimento.

Categoria “Análise de decisão”:

Observando a categoria de análise de decisão, constata-se que apenas cinco artigos revistos apresentam métodos desta disciplina, valor motivado pelo foco do presente trabalho na modelação e otimização das cadeias de abastecimento. Não obstante, devido à sua importância e abundância no estudo de cadeias de abastecimento e da sua gestão, surge como uma metodologia frequentemente utilizada, em particular os métodos de análise de decisão multicritério, na avaliação das práticas nas cadeias de abastecimento, nas quais se incluem as mais recentes cadeias de abastecimento sustentáveis. Exemplos desta mesma aplicação são os todos os cinco artigos, sendo que quatro tratam cadeias de abastecimento sustentáveis (e a sua gestão) (Büyükoçkan & Berkol, 2011; Validi et al., 2014; Hussain et al., 2014; Su et al., 2015) e apenas um aborda cadeias de abastecimento verdes (Masoumik et al., 2015). Nestes trabalhos são apresentados diferentes métodos como TOPSIS (*Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*), utilizado no trabalho de Validi et al. (2014) para avaliar possíveis soluções para um sistema de distribuição de uma cadeia de abastecimento alimentar sustentável; *Hierarchical grey-DEMATEL (Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory)*, seguido por Su et al. (2015) para comparar as relações entre critérios, num sistema com informação incerta; ANP (*Analytic Network Process*), usados nos artigos Büyükoçkan e Berkol (2011), Hussain et al., (2014) e Masoumik et al. (2015), com o objetivo de avaliar diferentes práticas em cadeias de abastecimento.

Categoria “Caso de estudo”:

Cerca de 22% dos artigos estudados, isto é, dezasseis trabalhos, apresentam um caso de estudo, dos quais apenas três artigos se focam exclusivamente na análise do mesmo (Foran et al., 2005; Lee & Wu, 2014; Tidy et al., 2015). Quanto ao conceito de cadeia de abastecimento presente, é possível constatar que a maioria dos casos de estudo reflete cadeias de abastecimento sustentáveis (12 em 16 artigos) e apenas autores como Soysal et al. (2013) e Zhu & Sarkis (2004) exemplificam cadeias de abastecimento verdes. Do ponto de vista dos setores incluídos nos casos de estudos apresentados destacam-se o industrial (Zhu & Sarkis, 2004; Chaabane et al., 2010; Devika et al., 2013; Validi et al., 2014; Zhang et al., 2014; Germani et al., 2015; Bhinge et al., 2015; Mota et al., 2015; Mota et al., 2016), o energético (Büyükoçkan & Berkol, 2011; Hassini et al., 2012), o de distribuição (Soysal et al., 2013; Lee & Wu, 2014; Tidy et al., 2015; Mota et al., 2015 (b)) e ainda o governamental (Foran et al., 2005). Considerando o presente trabalho, em que o caso de estudo recai sobre um distribuidor alimentar

português, realçam-se os artigos Tidy et al. (2015) e Mota et al., 2015 (b) que estudam cadeias de abastecimento alimentares no Reino Unido e retalho alimentar em Portugal, respetivamente.

Categoria “Modelação Matemática”:

Considerando todos os artigos que apresentam modelação matemática, observa-se que cerca de 29% dos trabalhos (21 artigos) da presente revisão bibliográfica exibem esta metodologia.

Analisando esta categoria segundo a definição de cadeia de abastecimento seguido pelos autores de cada artigo, é possível agrupá-los em sustentáveis (que integram as três dimensões), “closed-loop” (que combinam a cadeia tradicional e a cadeia inversa) e verdes (que focam objetivos ambientais e económicos). Na tabela 3 são expostos os resultados desta classificação, destacando-se as cadeias de abastecimento sustentáveis (42% dos artigos com modelação matemática).

Tabela 3: Classificação dos artigos com modelação segundo as definições de cadeias de abastecimento.

	Cadeias de abastecimento sustentáveis	Cadeias de abastecimento “closed-loop”	Cadeias de abastecimento verdes
% de artigos	42%	33%	13%
Artigos	Chaabane et al., 2010 Hsueh, 2014 Zhang et al., 2014 Validi et al., 2014 Validi et al., 2014 (b) Boukherroub et al., 2015 Bhinge et al., 2015 Mota et al., 2015 Mota et al., 2015 (b) Mota et al., 2016	Pishvae & Torabi, 2010 Pishvae et al., 2010 (b) Amin & Zhang, 2012 Amin & Zhang, 2012 (b) Özkır & Basligil, 2012 Garg et al., 2015 Moghaddam, 2015 Talaie et al., 2015	Soysal et al., 2013 Memari et al., 2015 Martins et al., 2016

Nos artigos em que são contemplados mais do que um conceito de cadeia de abastecimento surge Pishvae et al. (2010), que propõe um modelo de otimização no qual combina a logística inversa com a cadeia de abastecimento tradicional, ou seja, segue o conceito de cadeia de abastecimento “closed-loop” e Devika et al. (2013), que investiga o design de cadeias de abastecimento “closed-loop” abordando o conceito de TBL.

Do ponto de vista dos diferentes níveis de gestão das cadeias de abastecimento (estratégico, tático e operacional) observa-se na tabela F.1 do Anexo F: Categoria "Modelação" segundo o nível de gestão das cadeias de abastecimento, que maioria dos modelos apresentados tratam questões relacionadas com os níveis estratégico e tático, isto é, com os planos das tomadas de decisão no longo e médio prazo, correspondendo ao *network design* e planeamento da cadeia de abastecimento, definição de rotas e controlo de fluxo de materiais/produtos. O nível operacional surge apenas em modelos que contemplam também decisões no plano tático, correspondendo a 17% dos modelos estudados, nos quais os modelos apresentam soluções combinadas para decisões sobre a gestão de rotas e inventários no médio e curto prazo.

Motivado pelo objetivo do presente trabalho, isto é, otimizar a cadeia de abastecimento de congelados da Jerónimo Martins, pressupondo o desenvolvimento de um modelo matemático considerando os níveis de gestão estratégico e tático, na secção 3.3., os artigos e correspondentes modelos desta

categoria serão analisados e comparados ao detalhe de modo a determinar o percurso a seguir para obter possíveis soluções para este problema.

3.3 Modelação de Cadeias de Abastecimento Sustentáveis

Segundo Tang & Zhou (2012), para manter o equilíbrio a longo prazo, as empresas necessitam de uma abordagem holística para sustentar os fluxos financeiro, de recursos e de desenvolvimento em todo o ecossistema, englobando os pequenos produtores em mercados emergentes, os parceiros da cadeia de abastecimento global, os consumidores nos países desenvolvidos e o planeta. De facto, a importância do equilíbrio entre lucro e sustentabilidade por parte das empresas é atualmente o foco do desenvolvimento das cadeias de abastecimento, refletindo a crescente consciencialização da população para o impacto das atividades humanas na sociedade e planeta. Deste modo, a modelação de cadeias de abastecimento não é exceção a esta tendência global, sendo revelado um crescente interesse na literatura na integração do conceito de sustentabilidade nas mesmas.

De revisões do estado da arte sobre a modelação de cadeias de abastecimento elaboradas anteriormente, destacam-se trabalhos como o de Tang & Zhou (2012), com a análise da investigação de operações ambiental e socialmente sustentáveis. Neste artigo, os autores constataam o foco da literatura nas cadeias de abastecimento “*closed-loop*”, na definição de estratégias sustentáveis ao nível da empresa, considerando um ponto de vista individualista, e na preocupação com a dimensão ambiental, conclusões estas que também constam no trabalho de Seuring (2012). Tang & Zhou (2012) criticam também a motivação para as medidas associadas à dimensão ambiental, as quais tomam por base, na sua maioria, a regulamentação governamental, menosprezando as pressões do mercado, ou seja, o desejo do consumidor por produtos e processos “verdes”. Seuring (2012) e Tang & Zhou (2012) realçam ainda o quase inexistente desenvolvimento deste tema considerando a dimensão social, que justifica pela dificuldade de medir e modelar o impacto na sociedade.

Na sua revisão sobre a modelação da gestão de cadeias de abastecimento sustentáveis, Seuring (2012) verifica a reduzida investigação que recai sobre a implementação dos pensamentos “verde” e sustentável nas cadeias de abastecimento tradicionais, sendo que a maioria trata as cadeias de abastecimento “*closed-loop*” ou as inversas, facto também observado por Brandenburg (2013).

Resultante de uma análise segundo a TBL, Seuring (2012) revela que os fatores ambientais são tratados, maioritariamente, através de modelos *Life Cycle Assessment* (LCA); a performance económica é avaliada com base no lucro ou custo total; a dimensão social não apresenta qualquer padrão; e que quando combinadas as diferentes dimensões na modelação, as soluções são normalmente alcançadas recorrendo à análise de *trade-offs*. Eskandarpour et al. (2015) acrescentam a necessidade de esforços para elaborar indicadores para dimensão ambiental mais gerais, desviando das tradicionais emissões de gases efeito de estufa, e incorporar métricas do desempenho da componente social das cadeias de abastecimento.

Na presente revisão constam vinte e um artigos nos quais são propostos diversos modelos de otimização de cadeias de abastecimento, que se encontram descritos na tabela G.1 do Anexo G: Descrição dos modelos presentes na revisão bibliográfica. Deste modo, com base nesta representação

e considerando as diferentes dimensões do conceito de sustentabilidade, observa-se o contínuo interesse sobre o desempenho económico, presente em todos os modelos e sendo foco exclusivo dos estudos de Pishvae & Torabi (2010), Pishvae et al. (2010), Amin & Zhang (2012 (b)), Pishvae et al. (2010(b)) e Moghaddam (2015).

Denota-se, tal como referido por Seuring (2012) e Tang & Zhou (2012), a forte incidência na dimensão ambiental das cadeias de abastecimento, sendo integrada em cerca de 75% dos modelos analisados, valor do qual 50% corresponde ao estudo conjunto das componentes económica e ambiental, desenvolvidos por Chaabane et al. (2010), Amin & Zhang (2012), Soysal et al. (2013), Validi et al. (2014), Validi et al. (2014(b)), Memari et al. (2015), Talaei et al. (2015), Garg et al. (2015) e Chibeles-Martins et al. (2016). Em oposição a esta tendência, apenas um terço dos modelos contempla as dimensões económica, ambiental e social em simultâneo, surgindo em trabalhos de Devika et al. (2013), Zhang et al. (2014), Boukherroub et al. (2015), Bhinge et al. (2015), Mota et al. (2015), Mota et al. (2015(b)) e Mota et al. (2016). Por fim, apenas Özkır & Baslıgil (2012) e Hsueh (2014) tratam as dimensões económica e social nos seus modelos.

Também na tabela G.1, apresenta-se o foco dos diferentes modelos, correspondendo às decisões que estes abordam. Atentando nas decisões ao nível estratégico, como *network design*, destacam-se os trabalhos de Pishvae et al. (2010), Amin & Zhang (2012), Devika et al. (2013) e Talaei et al. (2015), que o fazem de modo exclusivo, e Chaabane et al. (2010), Pishvae & Torabi (2010), Özkır & Baslıgil (2012), Amin & Zhang (2012(b)), Pishvae et al. (2010(b)), Mota et al. (2015), Mota et al. (2015(b)), Moghaddam (2015), Mota et al. (2016) e Chibeles-Martins et al. (2016), que consideram também no seu modelo decisões táticas, relacionadas, por exemplo, com fluxo de materiais, produção e transportes. Contemplando também o nível tático (e operacional), incluem-se os modelos elaborados por Soysal et al. (2013), Hsueh (2014), Zhang et al. (2014), Memari et al. (2015), Boukherroub et al. (2015), Bhinge et al. (2015), Garg et al. (2015), Validi et al. (2014) e Validi et al. (2014(b)), dos quais os últimos dois centram o seu trabalho nos transportes.

Na continuação da análise da tabela do Anexo G, apresentam-se as subsecções 3.3.1 e 3.3.2, nas quais se descreve não só a diversidade de modelação encontrada na revisão bibliográfica, bem como os métodos de solução propostos para os modelos desenvolvidos.

3.3.1. Modelos

Numa primeira abordagem, verifica-se que a maioria dos modelos desenvolvidos, isto é, cerca de 88%, são definidos como multiobjectivos, modelando simultaneamente mais do que uma função objetivo. Os restantes modelos apresentam um objetivo único, onde surgem autores como Pishvae et al. (2010) e Pishvae et al. (2010(b)) que apresentam modelos MILP (*Mixed Integer Linear Programming*) para o *network design* da cadeia de abastecimento “*closed-loop*”, com foco na produção e nos diferentes fluxos de materiais entre as entidades da cadeia, estabelecendo uma só função objetivo centrada no desempenho económico da cadeia. Estes dois artigos adaptam os seus modelos determinísticos, desenvolvidos numa primeira fase do trabalho, de modo a incorporar possíveis fontes de incerteza associadas às atividades das cadeias de abastecimento (procura, fornecedores, etc.), transformando os primeiros em modelos estocásticos. Assim, Pishvae et al. (2010(b)) segue uma abordagem de

robust fuzzy programming e Pishvae et al., 2010 um SMILP (*Stochastic Mixed Integer Linear Programming*). Ainda, no âmbito de um objetivo, Hsueh (2014) propõe um modelo de equilíbrio com base em *bilevel programming* e *variational inequality*, de modo a estabelecer a relação entre a importância do caráter social das cadeias de abastecimento sustentáveis e o seu impacto no lucro das mesmas.

Quanto aos modelos de multiobjetivo existe uma considerável variedade de abordagens, nas quais estão incluídas MOMILP (*Multi-Objective Mixed Integer Linear Programming*), MOLP (*Multi-Objective Linear Programming*), BONLP (*Bi-Objective Non-Linear Programming*), MOO (*Multi-Objective Optimization*) e MDPVRPI (*Multi-Depot Periodic Vehicle Routing Problem with Inter-depot routes*), para circunstâncias determinísticas (dos quais alguns são posteriormente desenvolvidos para incorporar as incertezas associadas), e BOPMILP (*Bi-Objective Possibilistic Mixed Integer Linear Programming*), *robust fuzzy programming* e *fuzzy MOO* (*Multi-Objective Optimization*), na modelação estocástica.

Exemplos de modelos MOMILP constam em variados trabalhos, os quais podem ser agregados segundo as dimensões abordadas. Deste modo, considerando exclusivamente a dimensão económica, Amin & Zhang (2012(b)) propõe uma abordagem em duas fases, a primeira remete para a seleção de fornecedores apoiada por um modelo *fuzzy*, cujo resultado consiste na atribuição de pesos a cada fornecedor com base em critérios qualitativos; a segunda fase compreende a modelação do *network design* (seleção da localização de instalações) e de fluxos de materiais em cadeias de abastecimento “*closed-loop*” através de MOMILP, que toma como objetivos a maximização do lucro e do peso (importância) dos fornecedores e a minimização da taxa de defeito. Moghaddam (2015) aborda também apenas o desempenho económico da cadeia de abastecimento “*closed-loop*”, modelando os fluxos de materiais que circulam na cadeia com o objetivo de maximizar o lucro da mesma, integrando, posteriormente, a incerteza inerente à procura, capacidade dos fornecedores e percentagem de produtos devolvidos através de uma abordagem *fuzzy*.

Com modelos MOMILP e considerando as dimensões económica e ambiental, destacam-se os trabalhos de Chaabane et al. (2010) que pretende apoiar decisões quanto ao *network design*, passando pela seleção de fornecedores, localização das instalações e níveis de produção e inventário dos diferentes materiais de uma cadeia abastecimento, tomando como objetivos a minimização dos custos totais e das emissões dos gases efeito de estufa (contabilizadas através de uma abordagem LCA); Amin & Zhang (2012) focam o *network design* (localização de instalações) e o planeamento de fluxos de materiais, avaliando o consequente desempenho da cadeia de abastecimento “*closed-loop*” segundo o custo total obtido e a utilização de tecnologias e materiais de menor impacto ambiental, posteriormente, os autores analisam ainda o impacto das incertezas associadas à procura e devolução através de *stochastic programming*; Validi et al. (2014), que modela o sistema de transportes de uma cadeia de abastecimento sustentável, com os objetivos de minimização de custos e de emissões de CO_2 (provenientes do consumo de combustível por parte dos veículos utilizados); Memari et al. (2015), que com objetivos semelhantes, apresenta uma formulação para os processos de produção e distribuição de uma cadeia de abastecimento verde, na qual as emissões de CO_2 são calculadas através de um método baseado no *Greenhouse Gas Protocol*; Talaei et al. (2015), focando também o nível

estratégico da cadeia de abastecimento “*closed-loop*”, desenvolvem um modelo para apoiar na decisão de localizações para as diversas instalações da cadeia, objetivando novamente a minimização dos custos totais e das emissões de CO_2 da cadeia considerada, ao qual é aplicada *robust fuzzy programming* de modo a integrar incerteza associada aos custos variáveis e à taxa de procura; por fim, Chibeles-Martins et al. (2016) constroem um modelo abordando o *network design* (localização, capacidades e tecnologias a implantar nas diferentes instalações da cadeia) e planeamento dos fluxos de materiais, apostando na otimização da cadeia através da minimização de custos e emissões de CO_2 (associadas ao consumo de combustível e eletricidade por parte da cadeia).

Modelando as três dimensões da sustentabilidade (económica, social e ambiental) em simultâneo através de MOMILP, na literatura destacam-se os autores como Devika et al. (2013) que apresentam uma formulação para o *network design* (possíveis localizações, tecnologias, etc.) e os fluxos de materiais existentes numa cadeia de abastecimento “*closed-loop*” sustentável, tomando como objetivos da modelação a minimização dos custos totais da cadeia e dos impactos ambientais e a maximização da empregabilidade gerada. Boukherroub et al. (2015) integram as três dimensões na modelação do planeamento dos fluxos de materiais ao longo de uma cadeia de abastecimento sustentável, considerando os custos totais, as emissões de CO_2 (contabilizados através da atribuição de diferentes coeficientes de emissão associados a cada atividade e entidade da cadeia) e o desenvolvimento local e estabilidade de empregos.

Mota et al. (2015) propõem uma abordagem para o *network design* e planeamento de uma cadeia de abastecimento sustentável, contemplando a definição da sua estrutura, dos níveis de produção e inventário e dos fluxos de materiais inerentes à cadeia, com os objetivos de minimização dos custos totais e dos impactos ambientais (que são determinados através da metodologia ReCiPe 2008) e maximização de um indicador de benefício social (que mede o impacto da cadeia na criação de emprego e na sociedade em geral). O trabalho de Mota et al. (2015(b)) assemelha-se ao desenvolvido anteriormente, contudo distingue-se na forma de como os objetivos referentes às dimensões social e ambiental são analisados, sendo a social avaliada segundo um indicador que dá preferência a localizações em regiões menos desenvolvidas e a ambiental baseia-se nas metodologias ReCiPe e PEF (*Product Environmental Footprint*). Por fim, Mota et al. (2016), com focos idênticos aos dois últimos trabalhos enumerados (*network design* e planeamento), destaca-se nos restantes com uma formulação mais geral, que a torna aplicável a uma maior diversidade de cadeias de abastecimento sustentáveis, e objetivos para as dimensões económica e social distintos, pois as suas funções objetivo compreendem a maximização do NPV (*Net Present Value*) e de um indicador social baseado no PIB (Produto Interno Bruto) regional.

Apresentando MOLP (*Multi-Objective Linear Programming*), com variáveis contínuas, surgem os trabalhos de Soysal et al. (2013) que contempla as dimensões económica e ambiental da cadeia de abastecimento, e Zhang et al. (2014) que integra as três dimensões da sustentabilidade, sendo que ambos modelam o planeamento dos fluxos de materiais da cadeia. Soysal et al. (2013) apresentam como objetivos a minimização dos custos totais e das emissões de dióxido de carbono (associadas às atividades de transporte). Zhang et al. (2014) pretendem minimizar os custos totais, as emissões de

gases efeito de estufa (baseadas numa abordagem LCA) e o *lead time* (definido pelos autores como a soma dos tempos de processamento e transporte).

Garg et al. (2015) modelam o planeamento dos fluxos de materiais e do sistema de transportes de uma cadeia de abastecimento “*closed-loop*” por intermédio de BONLP (*Bi-Objective Non Linear Programming*). Neste trabalho os autores estudam as dimensões económica e ambiental, estipulando como funções objetivos a maximização do lucro da cadeia e a minimização do número de veículos contratados (que impacta a pegada de carbono da cadeia de abastecimento).

Pishvae & Torabi (2010) formulam um BOPMILP (*Bi-Objective Possibilistic Mixed Integer Linear Programming*) que foca o *network design* e o planeamento dos fluxos de materiais de uma cadeia de abastecimento, e incorpora as incertezas associadas (procura, devoluções, tempos de entrega, custos e capacidades), com o objetivo de maximizar o lucro da mesma.

Por fim, optando por uma abordagem MOO (*Multi-Objective Optimization*), surgem os trabalhos de Bhinge et al. (2015) e de Özkır & Baslıgil, (2012). Bhinge et al. (2015), considerando as dimensões económica, ambiental e social de uma cadeia de abastecimento sustentável, modelam o planeamento dos fluxos de materiais com os objetivos de minimizar os custos totais, o consumo energético e maximizar um indicador da saúde e segurança (contemplando o seguro manuseamento de tecnologias por parte dos trabalhadores e a segurança da comunidade local). Por outro lado, Özkır & Baslıgil, (2012) apresentam uma formulação, *fuzzy MOO*, para os níveis estratégico e tático de uma cadeia “*closed-loop*” integrando as incertezas associadas, tomando como funções objetivos a maximização do lucro da cadeia, da satisfação das taxas da procura final e dos níveis de satisfação das trocas na cadeia.

3.3.2. Métodos de solução

Na presente revisão bibliográfica é possível agregar os diferentes métodos de solução utilizados em exatos ou de aproximação (metaheurísticas).

Contemplando os métodos exatos referenciados na literatura, destacam-se os *softwares* ILOG CPLEX presente nos trabalhos de Pishvae et al. (2010(b)), Amin & Zhang (2012), Soysal et al. (2013), Zhang et al. (2014), Boukherroub et al. (2015) e Bhingea et al. (2015); LINGO utilizado nos artigos Chaabane et al. (2010), Pishvae & Torabi (2010), Pishvae et al. (2010), Garg et al. (2015) e Moghaddam (2015); GAMS (*General Algebraic Modeling System*) encontrado nos trabalhos de Amin & Zhang (2012(b)), Mota et al. (2015), Mota et al. (2016) e Özkır & Baslıgil (2012), sendo que este último artigo distingue-se dos restantes pela utilização do BARON (que combina a propagação de restrições, análise de intervalos e dualidade para uma redução eficiente do espaço de soluções) como *solver*, em vez do CPLEX como nos restantes casos.

Por outro lado, devido à frequente dificuldade de obter resultados através de métodos exatos, na bibliografia são propostas e comparadas diversas metaheurísticas, que permitem alcançar soluções na presença de problemas de maior complexidade, em que a formulação exata não é eficiente. Estes métodos tomam como base as técnicas *Genetic Algorithm* (GA), *Variable Neighborhood Search* (VNS), *Imperialist Competitive Algorithm* (ICA) e *Model Based Safety Analysis* (MBSA).

Baseados no método GA, são apresentadas variações como MOGA (*Multi-Objective Genetic Algorithm*), presente nos artigos de Validi et al. (2014) (MOGA-II), Validi et al. (2014(b)) (DoE-Guided MOGA-II - Design of Experience Multi-Objective Genetic Algorithm II) e Memaria et al. (2015); NSGA (*Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm*) surge no trabalho de Validi et al. (2014); e GA+SQP (*Hybrid Genetic Algorithm Sequential Quadratic Programming*) que é sugerido também por Validi et al. (2014). Combinando os métodos VNS e ICA, Devika et al. (2013) sugere e compara três variações destas técnicas, *Hybrid AICA (Adapted Imperialist Competitive Algorithm) and VNS, Two-phase ICA and VNS* e *Nested ICA and VNS*, concluindo que as abordagens *nested* alcançam melhores resultados., Chibeles et al. (2016) solucionam o modelo MOMILP com o método MBSA, que tem por base o algoritmo de SA (*Simulated Annealing*).

3.4 Cadeias de abastecimento de congelados

Na pesquisa elaborada para o presente trabalho, verificou-se a reduzida investigação na literatura incidente nas cadeias de abastecimento de produtos alimentares, em particular, de produtos congelados. Apesar da importância da indústria alimentar para a economia global, o estudo do desempenho e impacto deste setor tem sido menosprezado pelos investigadores (Turi et al., 2014). Sendo este facto verificado não só no setor industrial, como também no da distribuição alimentar.

Com a crescente consciencialização dos consumidores perante a sustentabilidade do abastecimento de produtos alimentares e mudança dos seus estilos de vida, o setor alimentar tem sido pressionado de modo a considerar o impacto da sua atividade no ambiente e sociedade envolventes. Outros fatores que justificam esta tendência para a sustentabilidade são a regulamentação, globalização, liberalização da troca mundial e dos mercados e a evolução tecnológica, incluindo as tecnologias de informação que possibilitaram novos produtos e métodos de organizar a cadeia de abastecimento (Validi et al., 2014; Turi et al., 2014).

Uma cadeia de abastecimento alimentar compreende atividades como a compra de matérias-primas da agricultura, o seu processamento até à fase de consumo e a sua distribuição, e envolve inúmeras entidades como agricultores, fornecedores, produtores, embaladores, transportadores, exportadores, grossistas, retalhistas e consumidores finais com interesses diferentes e em constante mudança, culturas e dimensões distintas, tornando este setor complexo e muito dinâmico. O seu desempenho tem sido avaliado com base na sua performance económica, produtividade, segurança e qualidade dos produtos obtidos (Beske et al., 2013; Turi et al., 2014). Este tipo de cadeias contempla diversos desafios tais como o ambiente de conservação requerido, a validade e controlo de qualidade dos artigos, a variabilidade na procura e a conseqüente gestão de inventário.

As cadeias de abastecimento do setor alimentar podem ser classificadas segundo a validade dos produtos que comercializam. Deste modo, distinguem-se as cadeias de abastecimento de frescos e de congelados, com reduzida e elevada validade, respetivamente. Estas diferenciam-se então pela duração dos seus produtos; pela velocidade exigida no transporte nos mesmo, sendo que os produtos frescos requerem que o processo desde o fornecedor até ao consumidor final seja de curta duração de modo a chegar ao cliente ainda com validade; pelo consumo energético que, apesar de ambas

requererem refrigeração nas diferentes etapas da cadeia, é consideravelmente superior nas cadeias de congelados, pois estes são mantidos a temperaturas bastante inferiores; por último, o foco das cadeias de abastecimento, onde as etapas de transporte surgem como o centro das cadeias de abastecimento de frescos e o armazenamento como foco das cadeias de abastecimento de congelados (Zanoni & Zavanella, 2011).

Segundo a Comissão do Desenvolvimento Sustentável do Reino Unido, uma cadeia de abastecimento alimentar sustentável produz produtos saudáveis e seguros em resposta à sua procura; suporta a viabilidade e diversidade das comunidades e economias urbanas e rurais; respeita e opera dentro dos limites dos recursos naturais; alcança elevados padrões no desempenho sustentável, através da redução do consumo energético e recursos e utiliza energia renovável sempre que possível; garante ainda um ambiente de trabalho seguro e limpo, educando todos os seus trabalhadores, e um elevado bem-estar social.

3.5. Conclusões do Capítulo

Neste capítulo realizou-se uma revisão do estado da arte referente a cadeias de abastecimento sustentáveis e a sua modelação nos diferentes níveis de gestão, que tem em vista a sua aplicação no problema da cadeia de abastecimento de congelados da JM.

Em resposta ao aumento da consciencialização geral sobre a importância da sustentabilidade, o tema das cadeias de abastecimento tem sido desenvolvido de modo a integrar o conceito de TBL. Assim, na modelação contemplada nos artigos estudados, constata-se que a dimensão económica, presente em todos os modelos, foca-se na análise exclusiva de custos ou lucros obtidos pela cadeia. A integração da dimensão ambiental ocorre em 75% dos modelos, verificando-se a falta de sistematização das métricas utilizadas (emissão de gases poluentes, consumo energético, tratamento de resíduos, etc.) e a inclusão parcial das mesmas. Por fim, a dimensão social, menos integrada na modelação, não apresenta qualquer padronização, com a abordagem a variar de autor para autor, focando critérios distintos (emprego, a riqueza da comunidade, a segurança dos trabalhadores, o *lead time*, etc.).

Destaca-se a preponderância da modelação multiobjectivo, em particular MOMILP, e o foco no apoio a decisões estratégico-táticas, modelando o *network design* e os fluxos de materiais. Realça-se ainda a reduzida investigação sobre cadeias de abastecimento de produtos alimentares sustentáveis, particularizando as de produtos congelados.

Consequentemente, para o desenvolvimento do modelo do presente trabalho é tido como base o trabalho de Mota et al. (2016) que desenvolve um modelo MOMILP para o *design* e planeamento de uma cadeia de abastecimento sustentável, recorrendo a métricas inovadoras e menos específicas, como o NPV, os impactos ambientais (obtidos através da metodologia ReCiPe) e um indicador social baseado no PIB, permitindo uma avaliação mais global dos impactos da cadeia.

Capítulo 4 – Tratamento de dados

No atual capítulo é descrito o tratamento dos dados necessários à aplicação do modelo. Numa primeira fase, na secção 4.1, apresenta-se o procedimento seguido para a determinação dos produtos a modelar e as características correspondentes. Já na secção 4.2, é contemplado todo o processo para definir possíveis áreas para a implementação de armazéns para a cadeia de abastecimento. A restante recolha e tratamento de dados, com os pressupostos e simplificações consideradas, encontra-se descrito na secção 4.3. Finalmente, são apresentadas breves conclusões sobre o presente capítulo na secção 4.4.

4.1. Produtos

O presente caso em estudo consiste numa cadeia de abastecimento com um sortido composto por 1765 artigos. Não sendo computacionalmente viável modelar todos os artigos, estes são agrupados segundo as suas características de modo a obter artigos representativos dos reais e permitindo assim a redução do sortido a modelar.

Considera-se plausível o agrupamento dos artigos na medida em que estes apresentam condições semelhantes de armazenamento e transporte, diferindo apenas nas características pelas quais são agrupados. O único fator diferenciador que não é contemplado consiste no valor de comercialização dos artigos, característica esta que não é relevante para a modelação do problema, uma vez que não se analisa a rentabilidade da cadeia de abastecimento, mas sim os custos associados com a mesma.

Na corrente etapa foram considerados os seguintes dados disponibilizados pela JM, para todo o sortido:

- Procuras por produto registadas, para todas as lojas; no intervalo de janeiro de 2014 a outubro de 2015;
- Quantidades movimentadas, em período temporal homólogo, por artigo;
- Peso total movimentado, em igual período temporal, para cada produto;
- Paletização de cada artigo (número de caixas por palete recebida do fornecedor).

Assim, de modo a permitir a redução do sortido a um menor número de artigos representativos e a determinação das características associadas a cada um, definiu-se e aplicou-se o seguinte procedimento:

1. Identificou-se cada artigo como pertencente às categorias Talho, Peixaria, Pastelaria-Padaria ou OPLS, podendo cada artigo pertencer apenas a uma categoria;
2. Realizou-se uma análise ABC a cada categoria de modo a definir os artigos da classe A das mesmas, permitindo a designação do conjunto de artigos mais representativos para cada categoria;
3. Agruparam-se os artigos obtidos segundo peso e dimensão, tal como descrito no fluxograma representado na figura 12.

Assim, após a realização do primeiro passo, o sortido foi separado nas categorias Talho, Peixaria, Pastelaria-Padaria e OPLS, sendo atribuídos a cada uma, respetivamente, 7%, 9%, 13% e 71% do sortido total. Com a análise ABC, verificou-se, em todas as categorias, que oitenta por cento das

quantidades movimentadas correspondiam a cerca de vinte por cento dos artigos e reduziu-se o número de artigos para 25, 32, 44 e 249 nas categorias de Talho, Peixaria, Pastelaria-Padaria e OPLS, respetivamente, quantidade esta que inviabiliza computacionalmente a modelação.

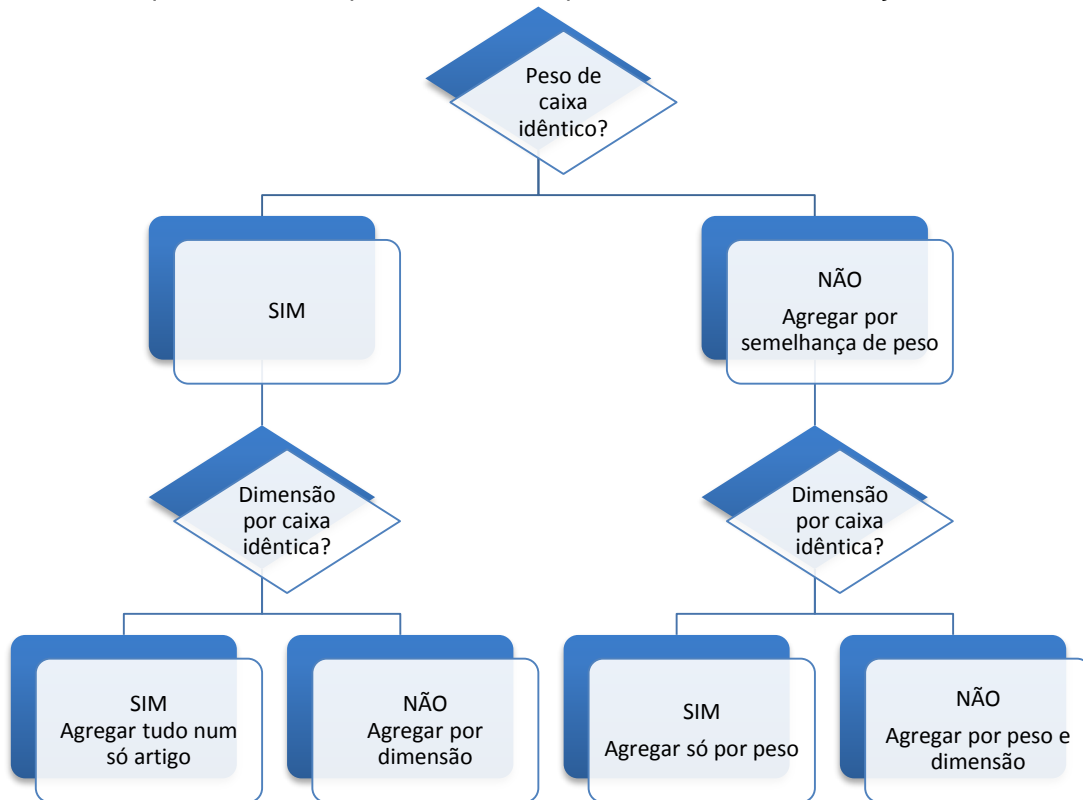


Figura 12: Fluxograma de agrupamento de artigos segundo peso e dimensão.

Com este conjunto de artigos, procedeu-se ao terceiro passo, no qual se agruparam os artigos segundo peso e dimensão. Importa explicitar que a dimensão definida para a caixa de cada artigo não consiste nas dimensões reais da mesma, mas sim na área de armazenamento ocupada por cada caixa considerando a sua paletização (número de caixas por palete), a área da palete padrão (1,2m por 0,8m) e o número de níveis de armazenamento (5 níveis). Assim a dimensão consiste na razão entre a área da palete pelo número de níveis e paletização de cada artigo representativo. Esta definição de dimensão permite a modelação do problema considerando apenas áreas e não volumes. Deste modo, a dimensão da caixa de cada artigo é diferenciada pela a sua paletização, sendo assim possível agrupá-los segundo esta característica.

Primeiramente, na terceira etapa do procedimento, calcularam-se a média e o desvio-padrão para cada categoria tanto para o peso como para paletização, resultados estes expostos na tabela 4, e analisou-se a dispersão destes valores para as diferentes categorias, tal como representado no Anexo H – Dispersão das características dos artigos por categoria.

A partir dos resultados da tabela 4 e seguindo o fluxograma da figura 12, analisou-se como o peso varia nas diferentes categorias, sendo possível verificar que todas as categorias apresentam um valor consideravelmente semelhante. Por conseguinte, agruparam-se os artigos em cada categoria, definindo, numa primeira fase, quatro artigos representativos (um por cada categoria).

Tabela 4: Características das quatro categorias de produtos.

Categoria	Estatísticas	Peso (kg/cx)	Paletização (cxs)
Talho	Média	9,29	68,2
	Desvio Padrão	3,32	38,34
Peixaria	Média	8,99	63,41
	Desvio Padrão	2,34	41,78
Pastelaria-Padaria	Média	5,49	59,36
	Desvio Padrão	2,98	34,73
OPLS	Média	4,63	116,28
	Desvio Padrão	2,70	52,01

No momento seguinte da etapa, a análise da paletização dos artigos de cada categoria, verificou-se uma considerável dispersão desta característica para todas as classes. Assim, agrupou-se os artigos de cada categoria segundo paletizações semelhantes, obtendo-se os artigos representativos finais apresentados na tabela 5. Destaca-se que, devido a limitações computacionais, considerou-se um limite de três artigos por categoria, dificultando a redução da dispersão verificada na paletização.

Tabela 5: Artigos representativos do sortido de congelados.

Categoria	Artigo representativo	Peso médio(kg/cx)	Desvio Padrão	Paletização média(cxs)	Desvio Padrão	Nº de artigos incluídos
Talho	TA (Pal<100)	9,96	2,83%	56,14	17,58%	22
	TB (Pal>100)	4,39	2,39%	156,67	33,00%	3
Peixaria	PA (Pal<100)	9,45	1,54%	53,60	13,62%	30
	PB (Pal>100)	1,98	0,02%	210,5	45,5%	2
Pastelaria-Padaria	PPA (Pal<50)	7,34	2,21%	26,2	6,11%	18
	PPB (Pal 50-100)	4,58	2,74%	73,09	12,94%	22
	PPC (Pal>100)	2,16	1,92%	133,00	27,91%	4
OPLS	OA (Pal<100)	6,78	2,45%	68,84	14,77%	112
	OB (Pal 100-200)	2,93	1,24%	147,25	24,29%	126
	OC (Pal>200)	2,26	0,70%	244.64	43,38%	11

Para cada artigo representativo descrito na tabela 5, definiu-se o seu peso e paletização com base nos respetivos valores médios dos artigos que representam.

Com os artigos representativos definidos, determinou-se a sua procura anual com base na soma das procuras anuais dos artigos que representam, para o período de dados disponibilizado (de janeiro de 2014 a outubro de 2015), sendo que para meses homólogos determinou-se o seu valor médio. Calcularam-se também os inventários mínimos para cada artigo representativo, seguindo a definição utilizada pela JM, meia semana da procura média do artigo, considerando as procuras anuais calculadas anteriormente para cada um e considerando que um ano é composto por 52 semanas. Os valores para as procuras anuais, inventários mínimos e dimensões de cada artigo representativo são apresentados na tabela 6.

Tabela 6: Dimensão, procura anual e inventário mínimo dos artigos representativos.

Categoria	Artigo representativo	Dimensão em armazenamento (m^2/cx)	Procura anual (cxs)	Inventário mínimo (cxs)
Talho	TA (Pal<100)	0,00342	345.252	3.320
	TB (Pal>100)	0,00123	20.653	199
Peixaria	PA (Pal<100)	0,00358	1.818.320	17.484
	PB (Pal>100)	0,00091	45.391	437
Pastelaria-Padaria	PPA (Pal<50)	0,00733	1.893.135	18.204
	PPB (Pal 50-100)	0,00263	2.786.476	26.793
	PPC (Pal>100)	0,00144	185.409	1.783

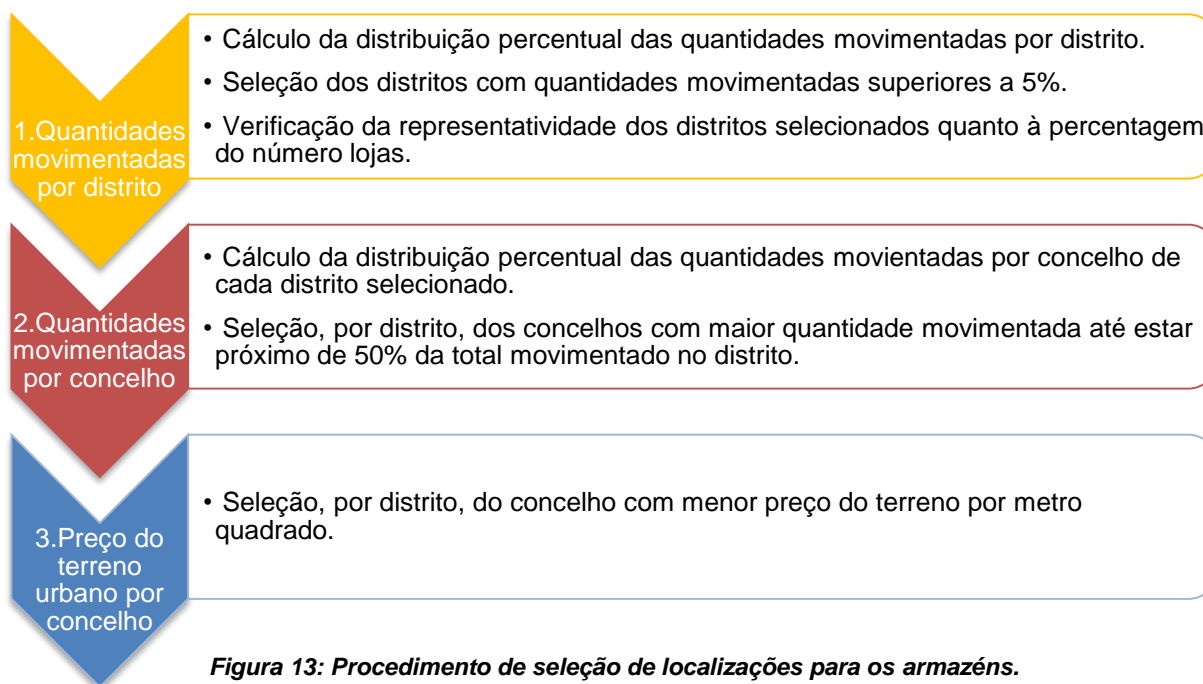
OPLS	OA (Pal<100)	0,00279	6.223.940	59.846
	OB (Pal 100-200)	0,00130	5.353.828	51.480
	OC (Pal>200)	0,00078	454.278	4.369

4.2. Localizações

Em resposta à necessidade de reduzir o número de localizações a analisar no modelo perante limitações computacionais do mesmo, foi necessário selecionar possíveis localizações para a implementação de armazéns da presente cadeia de abastecimento. Consequentemente, na presente secção definiu-se um procedimento para alcançar localizações vantajosas para a reestruturação da cadeia de abastecimento, considerando as distribuições geográficas da procura e lojas do grupo.

Realça-se que no presente processo de seleção são apenas consideradas localizações em território continental, sendo excluídos os arquipélagos da Madeira e dos Açores, pois o grupo não demonstra interesse nestas localizações, pelas limitações no transporte e, mais uma vez, pela menor representatividade destas localizações quanto a quantidades movimentadas.

Estabeleceu-se então um procedimento de seleção com base em critérios como a distribuição geográfica das quantidades movimentadas e a valorização dos terrenos nas diferentes localizações, tal como representado detalhadamente na figura 13.



Assim, com a aplicação do primeiro critério, considerando os distritos com quantidades movimentadas superiores a 5% do total, limitou-se as possíveis localizações aos distritos de Lisboa, Porto, Faro, Setúbal, Aveiro e Braga, tal como observado na tabela 7.

Nesta primeira fase do procedimento, analisaram-se as distribuições geográficas das superfícies comerciais do grupo e verificou-se que os distritos anteriormente selecionados representam também as regiões com maior número de lojas em Portugal, reforçando a representatividade dos mesmos.

Tabela 7: Distribuição geográfica de fornecedores, lojas e quantidades movimentadas

Distritos	Lojas	Quantidade Movimentada
Lisboa	29,30%	32,14%
Porto	20,10%	16,58%
Faro	8,23%	7,63%
Setúbal	6,54%	7,32%
Aveiro	6,78%	7,10%
Braga	5,33%	6,09%
Leiria	4,84%	4,31%
Santarém	5,08%	3,97%
Coimbra	3,39%	2,69%
Viseu	3,39%	2,54%
Évora	2,42%	1,92%
Castelo Branco	1,45%	1,64%
Viana do Castelo	1,69%	1,61%
Bragança	0,97%	1,33%
Beja	1,45%	1,03%
Vila Real	1,21%	0,92%
Guarda	0,73%	0,66%
Portalegre	0,73%	0,53%

No segundo momento, para cada um dos distritos selecionados, foi aplicado o critério de escolha dos concelhos com maior quantidade de produtos movimentados até estar o mais próximo possível dos 50% do total movimentado, sendo assim obtida a tabela 8.

Por fim, aplicando o critério de menor custo por metro quadrado de terreno entre os concelhos de cada distrito foram obtidos os seis concelhos destacados na tabela 8 (Aveiro, Braga, Portimão, Sintra, Vila Nova de Gaia e Barreiro). Destaca-se que os preços do terreno por metro quadrado para os diferentes concelhos baseiam-se nos dados estatísticos de 2014 disponíveis no portal PORDATA (2016) referentes ao custo médio do terreno urbano em cada região do país.

Tabela 8: Quantidades movimentadas e preço de terreno por concelho.

Concelhos	Distrito	% Qtd Movimentada no distrito	Preço (€/m ²)
Sta. Maria Feira	Aveiro	29,23%	100,98
Aveiro	Aveiro	25,03%	90,16
Braga	Braga	49,87%	70,851
Portimão	Faro	19,35%	92,461
Loulé	Faro	15,75%	247,238
Lagos	Faro	11,88%	142,328
Lisboa	Lisboa	30,39%	165,055
Loures	Lisboa	12,31%	143,733
Sintra	Lisboa	11,78%	100,378
Porto	Porto	28,48%	217,739
Vila Nova de Gaia	Porto	17,04%	68,556
Matosinhos	Porto	10,86%	80,439
Setúbal	Setúbal	21,28%	72,65

Seixal	Setúbal	20,19%	84,626
Barreiro	Setúbal	17,80%	53,4

Para cada concelho determinou-se ainda uma localização específica dentro do mesmo, com base na proximidade à zona industrial do concelho e a acessos que facilitem as atividades de transporte e na disponibilidade de terreno para construção, tal como explicito na figura 14.



Figura 14: Processo de definição das localizações e respetivas áreas.

Este último processo foi realizado com o apoio da ferramenta GoogleEarthPro que, além de permitir a visualização do local e os acessos circundantes, dispõe de um mecanismo de medição de áreas no mapa, o que possibilitou a definição de uma área máxima para cada localização, tal como descrito na tabela 9.

Tabela 9: Áreas máximas das localizações possíveis.

Localização	Aveiro	Braga	Portimão	Sintra	V.N.Gaia	Barreiro
Área máxima (m²)	28.000	24.000	20.000	40.000	26.000	30.000

4.3. Recolha e tratamento de dados

Na presente secção são descritos a recolha e os procedimentos seguidos para definir os restantes parâmetros necessários à modelação do caso de estudo, sendo exposto os pressupostos e simplificações consideradas.

4.3.1. Escala temporal

Com o objetivo de estudar decisões nos níveis estratégico e tático da cadeia de abastecimento, para a atual modelação considera-se como unidade temporal o ano e um horizonte temporal de dez anos de atividade da cadeia de abastecimento em estudo.

4.3.2. Super estrutura da cadeia de abastecimento

4.3.2.1. Fornecedores

De modo a simplificar o modelo quanto aos fluxos considerados, no presente caso de estudo, os fornecedores são caracterizados como entidades fictícias que abastecem os armazéns de acordo com as necessidades de cada período. Desta forma, não são consideradas imposições de quantidade, limitações de capacidade ou restrições associadas aos armazéns onde entregam.

4.3.2.2. Armazéns

Perante a necessidade de dimensionar os armazéns a implantar de modo a comportar todo o sortido, determinou-se a área necessária para contemplar apenas os artigos A, classificados através da análise ABC, área correspondente a vinte por cento do sortido, o que corresponde a oitenta por cento das quantidades movimentadas, ou seja, a área obtida corresponderia a oitenta por cento da área total necessária.

Considerou-se que a área de armazém se encontra dividida em duas áreas, de armazenamento e *handling*, que, por sua vez, dependem do número de caixas de cada artigo por palete proveniente do seu fornecedor e do número médio de caixas por palete enviada dos armazéns para as lojas, respetivamente. Estes valores permitem assim definir uma área ocupada por caixa, tanto para a situação de armazenamento, como de *handling*, considerando a área da paleta padrão utilizada ($1,2 \times 0,8 m^2$). Para estimar a área ocupada por caixa na zona *handling*, consideram-se os valores médios do número de caixa por paleta no ano de 2014 nos armazéns. Como o armazém da região norte é o único com o sortido completo, para a presente modelação considera-se média de caixas por paleta do mesmo (50,14 caixas por paleta expedida), sendo a área ocupada por caixa definida por $\text{área ocupada por caixa em handling} = \text{área da paleta} / \text{paletização média de expedição}$ [1], obtendo o valor de $0,0192 m^2 / \text{caixa}$.

4.3.2.3. Lojas

Para a modelação do presente caso de estudo não foram consideradas as localizações e procuras das superfícies comerciais nos arquipélagos dos Açores e da Madeira, pois o sistema de abastecimento das mesmas é realizado de forma distinta das restantes lojas do continente, sendo abastecidas por via marítima. Esta simplificação é possível, já que estas regiões têm uma operação Logística independente, sendo que a Logística continental é um fornecedor.

4.3.2.4. Fluxos

Em resposta à estratégia de simplificação dos fornecedores, o fluxo entre fornecedores e armazéns é definido como um processo de fornecimento fictício onde, dependendo dos inventários iniciais e procuras registadas para cada período, cada armazém recebe as quantidades necessárias de cada artigo representativo. A motivação para a utilização deste mecanismo decorre não só da simplificação dos fornecedores como também da necessidade de reduzir o número de artigos a modelar, implicando o agrupamento dos mesmos (com possíveis fornecedores distintos) num só artigo representativo.

Na presente modelação, considera-se apenas o fluxo de artigos entre os armazéns e as superfícies comerciais, que se baseia na procura de cada loja associada a cada artigo representativo nos diferentes períodos temporais, procura esta que deverá ser sempre satisfeita.

4.3.2.5. Transportes

Na presente modelação não se considerou o modelo de transportes seguido pela JM, visto que o mesmo causaria um aumento da complexidade do modelo, inviabilizando a solução computacional do mesmo. Esta crescente complexidade deve-se ao facto de para esta atividade a JM dispor de diversos meios de transporte e diferentes dimensões de veículos utilizadas e apresentar ainda restrições nas capacidades e horários de entrega das diversas lojas.

Assim, no presente trabalho, a atividade de transporte é simplificada para um único meio de transporte (terrestre) e apenas uma dimensão de veículos, com capacidade para 24 paletes, dimensão esta que é a mais utilizada para a distribuição dos artigos congelados às lojas.

4.3.3. Distâncias

As distâncias entre as localizações das diferentes entidades foram obtidas com base nas respetivas coordenadas geográficas e recorrendo a uma função do *software* MATLAB. Esta função utiliza as coordenadas das entidades como *inputs* e devolve a distância em linha reta entre ambas em quilómetros, não considerando os acessos disponíveis entre as localizações, determinando assim uma distância menor que a percorrida na realidade pelos veículos. Para contornar esta limitação da formulação, assumiu-se um fator de aproximação das distâncias obtidas às distâncias reais percorridas, isto é, ao percurso realizado por estrada.

Deste modo, seleccionou-se uma amostra de pares de localizações do presente caso de estudo (as 170 lojas da região Norte e o respetivo armazém) para a qual, além das distâncias baseadas nas coordenadas geográficas, foram calculadas as distâncias por estrada, com base nos percursos mais curtos sugeridos pela aplicação GoogleMaps. Os resultados obtidos são apresentados na figura 15 a qual permite constatar a discrepância entre os dois tipos de distância.

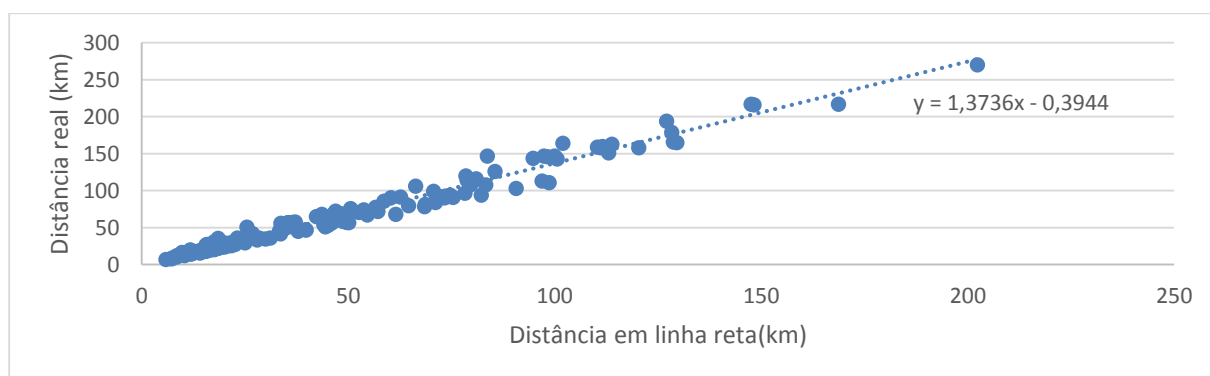


Figura 15: Comparação de distâncias.

Para a determinação do fator de desvio, calculou-se o erro da distância em linha reta comparada com a distância real para todos os pares de localizações e obteve-se o valor médio de 25% de desvio da distância real com um desvio padrão de apenas 9%, possibilitando a definição do fator como a média do erro percentual.

4.3.4. Custos

4.3.4.1. Implementação da instalação

- Aquisição de terreno

Os custos associados à compra de terreno são dependentes da área implementada e da localização escolhida para a instalação, uma vez que diferentes regiões apresentam custos distintos para a comercialização de terreno urbano (terreno em que é permitida a construção de edifícios), sendo estes apresentados na tabela 10.

Tabela 10: Preço do terreno das localizações.

Localizações	Aveiro	Braga	Portimão	Sintra	V.N.Gaia	Barreiro	Loures (MARL)	V.Conde	Algoz
Preço do terreno (€/m ²)	90,16	70,85	92,46	100,38	68,56	53,40	136,57	81,19	68,23

- Construção da instalação

Com base na construção do mais recente armazém de congelados do grupo, o custo de construção

por metro quadrado foi definido como o valor de 688€/m², que contempla tanto os custos de construção civil como os associados à implementação da tecnologia de refrigeração. Com a utilização deste valor, são menosprezados possíveis benefícios advindos de efeitos de escala, já que se considera o preço constante para qualquer que seja a dimensão da instalação.

4.3.4.2. Mão de obra

- Especializada

Esta classe de colaboradores contempla o pessoal administrativos e gestores necessários ao funcionamento dos armazéns. Assim, o número de trabalhadores necessários por metro quadrado de área instalada foi estipulado com base nos padrões e requisitos de funcionamento da JM.

- Não especializada

Este conjunto de colaboradores varia segundo o volume de atividade associado à instalação implementada. Assim, os trabalhadores são contratados segundo a área implementada, que por sua vez se encontra dependente dos fluxos e inventários. O valor para o número de trabalhadores não especializados é também obtido com base no histórico de funcionamento dos armazéns que o grupo detém atualmente.

- Cálculo do número de trabalhadores e respetivos custos

Para obter estes valores, recorreu-se aos registos de funcionamento dos armazéns pertencentes ao grupo e que se regem exclusivamente pelas regras de trabalho da JM, ou seja, os armazéns das regiões Norte e Sul. Na tabela 11 apresenta-se a distribuição de trabalhadores das duas classes para cada armazém.

Tabela 11: Distribuição de trabalhadores.

Classe	Norte (Vila do Conde)			Sul (Algoz)		
	Nº trab.	% trab.	Rácio de trab. por área do armazém (trab/m ²)	Nº trab.	% trab.	Rácio de trab. por área do armazém (trab/m ²)
Especializada	16	26	0,0027	3	23	0,0024
Não especializada	45	74	0,0075	10	77	0,0080

Verificou-se a semelhança na distribuição pelas duas classes em ambos os armazéns, pelo que se procedeu à definição do número de trabalhadores por metro quadrado com base na média dos valores do rácio de trabalhadores por área do armazém apresentados na tabela 11.

Os custos associados ao pessoal foram calculados com base nos custos que a JM apresentou no ano de 2014 na rubrica de gastos com pessoal, nas distribuições destes gastos entre ambas as classes de trabalhadores e no número de trabalhadores contratados por classes, sendo que os dois primeiros valores são explicitados na tabela 12.

Tabela 12: Custos de pessoal em 2014.

	Custo de Pessoal total	Percentagem de custos atribuída à classe especializada	Percentagem atribuída à classe especializada
Norte – 5508	961.713€	29%	71%
Sul – 5708	153.558€	27%	73%

Com os valores das tabelas 11 e 12, tornou-se possível obter o custo anual por trabalhador de cada classe, em cada armazém, aplicando a seguinte equação:

$$\text{custo por trabalhador da classe} = \frac{\text{custo de pessoal total} \times \% \text{ de custos atribuída à classe}}{\text{número de trabalhadores da classe}} \quad [2], \text{ sendo os resultados}$$

para cada armazém apresentados na tabela 13. Nesta tabela é notável a discrepância entre os valores praticados entre os dois armazéns para ambas as classes de trabalhadores. Por um lado, o valor anual mais elevado para a classe especializada no armazém do Norte é motivado pela senioridade dos seus trabalhadores e pela presença de cargos mais elevados, o que se traduz em salários mais elevados. Por outro lado, também no Norte, se verifica um salário médio inferior para a classe não especializada, facto justificado pelo rácio de trabalhadores com salários menores sobre trabalhadores com salários superiores (dentro desta classe) ser consideravelmente superior neste armazém.

Para a presente modelação são considerados os valores praticados no armazém do Norte, sendo este o que apresenta a operação mais completa e todos os cargos possíveis.

Tabela 13: Custo anual por trabalhador nos armazéns da JM.

Classe	Norte (Vila do Conde)
Especializada	17.431€/trab. ano
Não especializada	8.868€/trab. ano

4.3.4.3. Inventário

O custo associado à posse de inventário calculou-se através da seguinte equação:

$$\text{Custo de inventário por caixa} = \frac{\text{Custos anuais considerados}}{\text{caixas movimentadas anualmente} \times \text{cobertura média} / 365 \text{ dias}} \quad [3], \text{ e com base nos}$$

custos anuais associados à atividade dos armazéns, não contemplando os custos de transporte, com o pessoal e os operacionais, no número de caixas movimentadas no ano de 2014 e no inventário médio registado (cobertura média – 10 dias de procura), tal como apresentado na tabela 14. Mais uma vez, considerou-se apenas o armazém da região Norte por este dispor do sortido completo.

Tabela 14: Custos de inventário anuais.

	Norte (Vila do Conde)
Caixas movimentadas anualmente	8.001.505
Custos anuais considerados	766.965 €
Cobertura média do armazém	10 dias
Custo de inventário por caixa	3,50€

4.3.4.4. Operacionais

Os custos operacionais englobam todos os gastos associados às seguintes rubricas:

- Embalagens e etiquetas;
- Utilidades (água, eletricidade, combustíveis e telecomunicações);
- Limpeza e segurança;
- Material de escritório;
- Ferramentas e utensílios de desgaste rápido;
- Seguros e taxas e contribuições autárquicas;
- Atividades de conservação e reparo;
- FSE (Fornecimento de Serviços Externos).

As rubricas enumeradas acima diferem quanto à variável de que dependem, ou seja, umas encontram-se associadas às quantidades movimentadas (exemplo: embalagens e etiquetas) e outras à dimensão da instalação (exemplo: utilidades). Para o atual caso de estudo, os custos operacionais consideram-se como dependentes somente da área do armazém, já que esta é definida com base nos fluxos e

inventários de produtos que circulam no armazém. Para o seu cálculo consideraram-se os custos operacionais resultantes da atividade do armazém da região Norte durante o ano de 2014, visto ser um armazém do grupo onde circula todo o sortido e que funciona no limite das suas capacidades, sendo possível uniformizar todas as rubricas como dependentes apenas da área.

Finalmente, estabeleceu-se o valor dependente da área do armazém através do rácio do custo anual (612.158€/ano) pela área do armazém da região Norte, ou seja,

$$\text{custos operacionais} = \frac{\text{custos operacionais anuais}}{\text{área da instalação}} \quad [4], \text{ obtendo o valor de } 102,03\text{€/m}^2.$$

Destaca-se que este cálculo não considera possíveis efeitos de escala de que determinadas rubricas possam beneficiar.

4.3.4.5. Transporte

Para o cálculo dos custos associados à atividade de transporte, definiu-se um custo unitário de transporte por caixa:

$$\text{custo de transporte por caixa.km} = \frac{\text{custo anual da atividade de transporte}}{\text{capacidade por veículo} \times \text{paletização média} \times \text{quilómetros percorridos anualmente}} \quad [5], \text{ com}$$

base nos gastos totais anuais (combustível, portagens, pessoal, manutenção, impostos, seguros, etc.), resultantes da atividade de transporte do grupo, a paletização média expedida, a capacidade do tipo de veículo usado com mais frequência e os quilómetros totais percorridos num ano, sendo os resultados apresentados na tabela 15.

Tabela 15: Custos de transporte anuais.

	2015
Custo anual da atividade de transporte (€)	43.128.157
Capacidade por veículo (paletes/camião)	24
Paletização média das paletes expedidas (caixas/palete)	50,14
Quilómetros percorridos anualmente (km)	44.356.957
Custo por caixa e quilómetro (€/caixa.km) (ct)	0,00081

Realça-se que o custo determinado na tabela 15 considera apenas a utilização de apenas um condutor por veículo para cada percurso realizado. Contudo, esta realidade verifica-se apenas para viagens de ida e volta (uma volta) com distâncias inferiores a 574km, já que na presente cadeia de abastecimento, a maior “volta” realizada percorre 574km. Caso contrário é necessário recorrer a um condutor extra, o que se traduz num acréscimo de 36% no custo dos transportes modelados, valor que corresponde à parcela associada aos encargos com o pessoal utilizando apenas um condutor por veículo.

4.3.5. Indicadores ambientais

A análise dos impactos ambientais das atividades da cadeia de abastecimento do presente caso de estudo assenta nos indicadores ambientais definidos com base nos fatores de caracterização dos impactos disponibilizados na base de dados SimaPro Ecoinvent versão 8.01.

Para o presente caso de estudo pretendeu-se caracterizar os impactos da implementação de armazéns segundo a sua área e da atividade de transporte da cadeia de abastecimento (por kg.km), de forma a avaliar o desempenho ambiental da cadeia de abastecimento.

A seleção dos fatores de caracterização disponíveis no SimaPro Ecoinvent pressupôs a definição do tipo de modelação da LCA, “*attributional*” ou “*consequential*”. A primeira apresenta como objetivo a descrição de um sistema de um produto e os seus impactos diretos, isolando-o do restante universo,

enquanto que a segunda pretende descrever como os impactos do sistema poderão modificar-se perante possíveis mudanças nas circunstâncias consideradas, alargando as fronteiras do sistema analisado. Assim, a modelação “*attributional*” baseia-se em valores médios atuais dos sistemas modelados, enquanto que a “*consequential*” assume expansões e variações no sistema segundo possíveis alterações, recorrendo a valores marginais, permitindo analisar como o impacto ambiental do sistema será influenciado pelas modificações das circunstâncias que o rodeiam. Consequentemente, apesar da maior incerteza associada à modelação “*consequential*” (baseada em possíveis alterações), esta permite uma análise no longo prazo e pretende apoiar na tomada de decisão (Rebitzer et al., 2004). Assim, na presente modelação foi considerada a abordagem “*consequential*”, sendo selecionados os seguintes fatores de caracterização da base de dados:

- Implementação de armazéns: “1 m2 Building, hall {GLO}| market for | Conseq, S (of project Ecoinvent 3 - consequential - system)”, sendo esta definição considerada a mais próxima do que se pretendia modelar, representando uma instalação segundo as designações do mercado global;
- Transporte: “Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 {GLO}| market for | Conseq, S”, visto os veículos com capacidade de 26 toneladas e regido pela norma EURO5 verificarem a maior frequência de utilização nesta cadeia de abastecimento.

Com o intuito de comparar os desempenhos ambientais obtidos por diferentes metodologias de LCIA (*Life Cycle Impact Assessment*) atualmente disponíveis, foram estudadas as seguintes:

- ReCiPe: esta metodologia surge em resposta à necessidade de ter um método que integrasse, de forma consistente, tanto a abordagem “*problem oriented*” como a “*damaged oriented*”, sendo apontada pela Comissão Europeia como um dos métodos mais robustos da atualidade. Tal como em metodologias anteriores, a abordagem *Midpoint* (“*problem oriented*”) traduz os impactos considerando questões ambientais como o aquecimento global, acidificação, toxicidade de águas, etc., para qual a ReCiPe estabelece dezoito categorias de análise de impactos ambientais. A abordagem *Endpoint* (“*damaged oriented*”) transforma os impactos em três categorias de danos como a saúde humana, o ambiente natural e os recursos naturais (SimaPro, 2016). Ambas as abordagens apresentam vantagens e desvantagens, por um lado, a abordagem *Midpoint* é caracterizada por uma considerável complexidade nos seus resultados, o que não se verifica na *Endpoint* pois agrega os resultados em apenas três categorias; por outro lado, a abordagem *Endpoint* apresenta uma elevada incerteza associada aos seus resultados, o que não acontece com a aplicação da *Midpoint* (European Commission, 2010).

Esta metodologia considera ainda três perspetivas culturais que representam um conjunto de decisões como o horizonte temporal ou as expectativas sobre as evoluções económica e tecnológicas que possam minorar ou eliminar futuros danos (Goedkoop, 2012). Assim define-se as perspetivas:

- “*Individualist*”: considera um curto prazo e uma visão otimista sobre o desenvolvimento tecnológico como forma de evitar problemas futuros;
- “*Hierarchical*”: perspetiva consensual, apresentando uma posição intermédia entre as restantes;
- “*Egalitarian*”: perspetiva mais cautelosa, contemplando os impactos no longo prazo.

- PEF (*Product Environmental FootPrint*): com a diversidade de métodos LCA existente e as consequentes variações e disparidades obtidas nos resultados, impossibilitando a comparação de resultados entre métodos, a Comissão Europeia estabeleceu esta metodologia com o intuito de uniformizar a avaliação quantitativa do desempenho ambiental na Europa. Este incide sobre serviços ou bens individuais e define categorias para a distinção dos mesmos, possibilitando o foco nos indicadores de maior relevância, facilitando a comparação de resultados. Segue ainda uma abordagem “*problem oriented*”, avaliando os impactos segundo questões ambientais, organizados em dezasseis indicadores, dos quais são destacados os relevantes (European Commission, 2012). Para a aplicação desta metodologia, no SimaPro selecionou-se o método ILCD (*International Reference Life Cycle Data System*) 2011 *Midpoint* +.

No presente trabalho, analisaram-se os métodos ReCiPe *Midpoint* considerando cada perspetiva cultural e PEF, não sendo considerada a abordagem *Endpoint* devido à elevada incerteza presentes nos seus resultados. Assim, para cada método, definiu-se os indicadores de impactos, os fatores de normalização e as unidades em que são quantificados para as diferentes metodologias, sendo apresentados nas tabelas I.1 e I.2 do Anexo I – Descrição dos indicadores ambientais para as diferentes metodologias.

4.3.6. Indicadores sociais

Para análise do desempenho da cadeia de abastecimento na dimensão social, recorreu-se à definição de indicadores sociais de modo a avaliar o benefício social resultante da implementação dos armazéns nas diferentes localizações analisadas.

Como o presente caso de estudo considera como opções apenas localizações em Portugal continental, foi necessário estabelecer indicadores sociais que permitam a análise de diferentes regiões de um mesmo país. Com base na revisão bibliográfica realizada neste trabalho, constatou-se que os indicadores comuns aplicáveis nestas circunstâncias se baseiam em métricas como a taxa de desemprego, densidade populacional e distribuição de rendimentos, tal como enunciado nos trabalhos de Devika et al. (2013), Boukherroub et al. (2015), Mota et al. (2015(b)) e Mota et al. (2015).

Por conseguinte, definiram-se dois indicadores com base nas métricas taxa de desemprego e densidade populacional, com o intuito de medir o benefício social das diversas localizações:

- Baseado na taxa de desemprego: $Em_i = \frac{td_i}{td_{Por}}$, onde td_i corresponde à taxa de desemprego no concelho da localização i e td_{Por} à taxa de desemprego de Portugal;
- Baseados na densidade populacional: $Pop_i = \frac{dp_{Por}}{dp_i}$, onde dp_i corresponde à densidade populacional no concelho da localização i e dp_{Por} à densidade populacional de Portugal.

Considerando as localizações selecionadas, definiram-se os valores de ambas as métricas para o concelho de cada localização com base nos resultados obtidos com os censos realizados em 2011, disponíveis no portal PORDATA (2016), sendo apresentados na tabela 16.

Tabela 16: Taxa de desemprego e densidade populacional por concelho.

	Aveiro	Braga	Portimão	Sintra	V.N.Gaia	Barreiro	Loures (MARL)	V.Conde	Algoz	Portugal
Taxa de desemprego (%)	10,7	13,2	17,2	13,5	17,9	15,4	12,9	14,5	15,1	13,2
Densidade Populacional (hab/km²)	397,1	989,6	305,5	1.183,6	1.794,4	1.096,5	532,6	1.205,3	54,6	114,5

4.4. Conclusões do capítulo

O presente capítulo apresentou o tratamento de dados realizado com intuito de possibilitar a implementação do modelo.

Com este objetivo em mente, e considerando a elevada complexidade de dados, estabeleceram-se diversas estratégias de simplificação relativos às seguintes componentes da cadeia de abastecimento:

- **Produtos:** em resposta à necessidade de reduzir o atual sortido composto por 1765 artigos, viabilizando a sua modelação computacional, estabeleceu-se um procedimento de modo a agrupá-los em apenas dez artigos representativos, tendo por base características como o peso e dimensão dos produtos e as categorias onde se inserem;
- **Fornecedores:** de forma a simplificar os fluxos considerados na modelação, definiu-se esta entidade como fictícia, abastecendo os armazéns de acordo com as suas necessidades periódicas, não sendo, por isso, contempladas restrições associadas a mínimos de compra, capacidade de abastecimento ou armazéns em que podem abastecer;
- **Transportes:** para reduzir a complexidade da modelação, não se considerou o modelo de transportes seguido pela JM, uma vez que o mesmo implicaria a modelação de diversos meios de transportes e diferentes dimensões de veículos e ainda restrições nas capacidades e horários de entrega nas diferentes superfícies comerciais, sendo simplificado para apenas um veículo de 26ton (peso bruto) e com capacidade de 24 paletes;
- **Localizações:** na impossibilidade de modelar toda a área de Portugal continental, definiu-se um procedimento para seleção de possíveis localizações para implementação de armazéns para a cadeia de abastecimento, tendo por base a distribuição geográfica da procura e das lojas do grupo.

Com todos os dados devidamente tratados, tornou-se possível a modelação do problema através da definição dos parâmetros do presente caso de estudo, presentes no modelo apresentado no capítulo que se segue.

Capítulo 5 – Conceção do modelo de otimização

Este capítulo consiste na apresentação do modelo de otimização matemática que é desenvolvido com o intuito de estudar a configuração ideal da cadeia de abastecimento de congelados da JM, com o foco nos seus possíveis armazéns. Num primeiro momento deste capítulo, na secção 5.1, é descrito, de modo sucinto, o problema e o modelo, já na secção 5.2 apresenta-se a formulação matemática detalhadamente e, por fim, na secção 5.3 apresentam-se as conclusões do capítulo.

5.1. Descrição do modelo de otimização

Para solucionar o presente caso de estudo, o modelo matemático apresentado toma por base o modelo desenvolvido em Mota et al. (2016). Este último foi desenvolvido com o intuito de criar uma ferramenta de apoio à tomada de decisões nos níveis estratégicos e táticos para a gestão de cadeias de abastecimento sustentáveis, tal como pretendido no presente trabalho. Os autores apresentam uma modelação matemática para uma cadeia de abastecimento *closed-loop* sustentável, como representada na figura 16, contemplando as seguintes decisões:

- Definição da capacidade e localização das diferentes instalações da cadeia de abastecimento;
- Seleção de fornecedores e definição dos níveis de compra;
- Escolha e alocação de tecnologia;
- Definição da rede de transportes (unimodal e multimodal);
- Planeamento do fornecimento;
- Recolha e remanufactura de produtos.

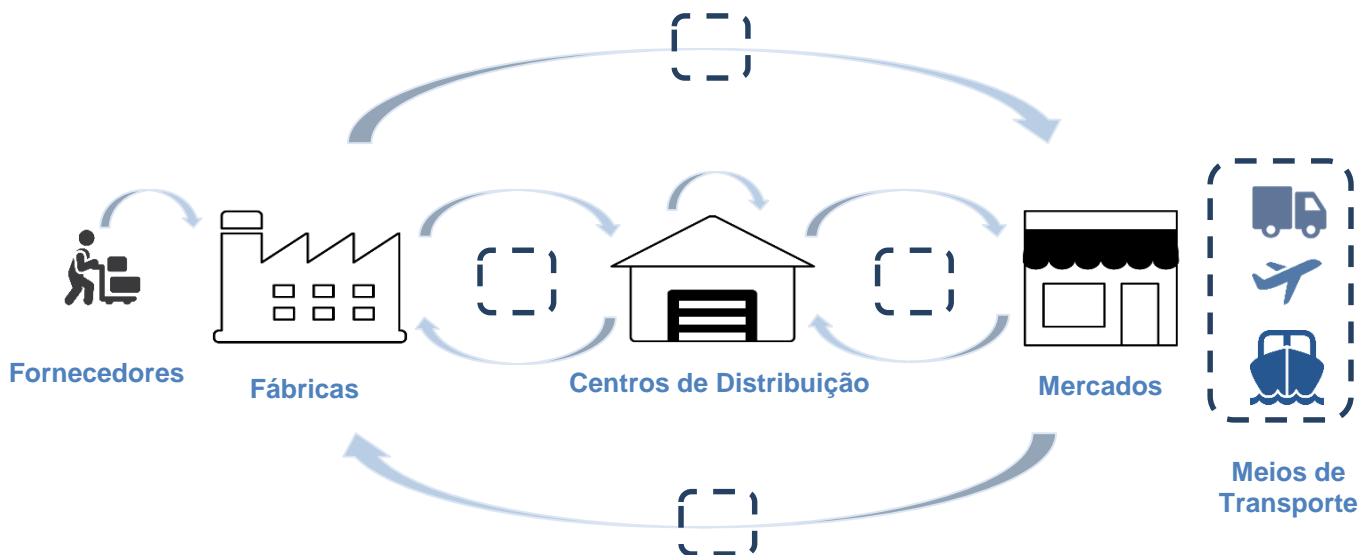


Figura 16: Cadeia de Abastecimento (Fonte: Mota et al., 2016).

Considerando as características do presente caso de estudo, surgiu a necessidade de adaptar o modelo anteriormente mencionado. As diferenças ocorrem nos seguintes níveis:

- Na cadeia de abastecimento modelada, onde se contemplaram apenas as entidades centros de distribuição e os mercados, com os respetivos fluxos entre si;

- Nas opções tecnológicas, já que o grupo recorre sempre ao mesmo tipo de tecnologia, não considerando alternativas, torna-se desnecessária a modelação deste fator;
- Nos meios de transportes utilizados, sendo que no presente modelo é considerado somente o meio terrestre para a movimentação dos produtos entre as entidades;
- Nas métricas utilizadas para avaliação do desempenho da cadeia de abastecimento:
 - Dimensão económica: definiu-se, como métrica, o custo total gerado pela cadeia de abastecimento em vez do NPV, visto que o foco de estudo não é a rentabilidade da cadeia de abastecimento. Ainda, a utilização do NPV não seria viável, pois, com a agregação do sortido em apenas dez artigos representativos, os preços de compra e venda médios assumidos causam um considerável desvio dos valores reais, consequência da discrepância interna verificada em cada conjunto de artigos agrupados.
 - Dimensão social: estabeleceram-se indicadores com base nas taxas de desemprego e densidades populacionais regionais, uma vez que o PIB consiste num indicador estabelecido por país, não sendo possível a diferenciação de regiões em cada país;
- Nos custos considerados, não sendo contemplados:
 - Custos de produção, pois a presente cadeia não apresenta uma entidade produtora;
 - Custos de remanufatura, já que apenas se considera o fluxo de produtos desde os fornecedores até às lojas e não o fluxo inverso;
 - Custos associados aos trabalhadores que realizam a atividade de transporte, sendo da responsabilidade das transportadoras contratadas;
 - Custos associados ao investimento na sua frota de veículos, já que a presente cadeia de abastecimento não detém uma frota, recorrendo a serviços de transportadoras, contratando com base nas suas necessidades diárias.

Assim, o atual problema toma como base os seguintes dados:

- As localizações fixas das lojas do grupo e as localizações dos possíveis armazéns;
- A área máxima disponível para as possíveis localizações dos armazéns;
- As distâncias entre os possíveis centros e as lojas existentes;
- O custo do terreno nas diferentes localizações dos armazéns;
- O custo da construção dos armazéns;
- Os custos operacionais;
- Os salários de trabalhadores especializados e não especializados;
- O número de trabalhadores especializados e não especializados;
- A procura de cada loja para cada produto representativo nos diferentes períodos de tempo;
- O inventário de segurança para cada artigo representativo;
- O custo de inventário por caixa armazenada;
- O custo de transporte associado à movimentação de caixas;
- As dimensões e peso associados cada artigo representativo;
- O fator de desvio das distâncias calculadas;
- O fator de dimensionamento das instalações;

- Os indicadores ambientais;
- Os indicadores sociais.

E pretende apoiar as seguintes decisões:

- Número e localização dos armazéns a abrir para satisfazer esta cadeia de abastecimento;
- Dimensão dos armazéns a instalar;
- Que artigos circulam em cada armazém;
- Que armazéns satisfazem cada loja.

Com os objetivos de minimizar o custo total da cadeia de abastecimento, minimizar o impacto ambiental associado à implementação e atividade da cadeia e maximizar os indicadores sociais.

5.2. Formulação matemática

Nesta secção é apresentada a formulação matemática do modelo de otimização, para o qual são definidos os índices, os conjuntos, os parâmetros e as variáveis consideradas.

5.2.1. Índices

Para cada conjunto, os seus elementos são identificados através dos seguintes índices:

- i – entidade armazéns;
- j – entidade lojas;
- m – produtos representativos;
- t – períodos de tempo;
- c – categorias ambientais ReCiPe *Midpoint*;
- p – categorias ambientais PEF.

5.2.2. Conjuntos

Os conjuntos definem a cadeia de abastecimento contemplando todos os seus elementos, permitindo a modelação do problema com as respetivas funções objetivo e restrições.

Entidades:

A cadeia de abastecimento apresenta as suas entidades agrupadas em armazéns e lojas, sendo então definido o seguinte conjunto: I – conjunto das localizações de armazéns e lojas, $(i, j) \in I$, com $I = I_w \cup I_s$, onde I_w representa o conjunto de localizações existentes e possíveis para armazéns e I_s contempla as todas as lojas do grupo em Portugal.

Produtos:

Cada artigo representativo encontra-se identificado pelo índice m , pertencendo ao conjunto M .

Tempo:

Os diferentes períodos temporais são designados pelo índice t e estes elementos pertencem ao conjunto T .

Impacto ambiental:

As diferentes categorias ambientais *Midpoint c* (analisadas na metodologia ReCiPe) pertencem ao conjunto *C*.

Já as categorias ambientais utilizadas na metodologia PEF *p* pertencem ao conjunto *P*.

Relação entre entidades:

Ligações possíveis entre os armazéns com localizações em I_w e as lojas de I_s são definidas pelo seguinte conjunto: $U = \{(i, j): i \in I_w \wedge j \in I_s\}$.

Resultante da simplificação da entidade fornecedores, define-se um conjunto que estabelece uma relação fictícia para cada armazém com ele próprio com o intuito de simular a atividade de fornecimento: $A = \{(i, i): i \in I_w\}$.

A atividade de *transshipment* é definida pelo conjunto $R = \{(i, j): i, j \in I_w, i \neq j\}$.

Por fim, as ligações possíveis entre todas as entidades são definidas pelo conjunto $Q = U \cup R$.

Relação entre entidades e produtos:

As relações possíveis entre as diferentes entidades e os diversos produtos são definidas nos seguintes conjuntos:

- Relação entre os armazéns com localizações em I_w e os produtos do conjunto M : $V = \{(m, i): m \in M \wedge i \in I_w\}$;
- Relação entre as lojas com localizações em I_s e os produtos do conjunto M : $S = \{(m, j): m \in M \wedge j \in I_s\}$.

Fluxos de materiais entre entidades:

Os possíveis fluxos de produtos trocados entre as diferentes entidades encontram-se designados nos conjuntos:

- Ligação entre as relações possíveis entre armazéns e lojas e as relações possíveis entre essas entidades e produtos: $F = \{(m, i, j): (m, i) \in V \wedge (m, j) \in S \wedge (i, j) \in U\}$;
- Novamente, para simular a atividade realizada pelos fornecedores e garantir a satisfação da procura, define-se um conjunto fictício que relaciona cada armazém a ele próprio e a as ligações possíveis entre os armazéns e os produtos: $B = \{(m, i, i): (m, i) \in V \wedge ((i, i) \in A)\}$;
- O fluxo associado à atividade de *transshipment* é definido pelo conjunto: $O = \{(m, i, j): (m, i) \in V \wedge (m, j) \in V \wedge (i, j) \in R\}$;
- A ligação entre as relações possíveis entre todas as entidades e as relações possíveis entre entidades e produtos define-se por: $N = F \cup O$.

5.2.3. Parâmetros

Com base nos dados disponibilizados no caso de estudo, os parâmetros são definidos seguidamente, encontrando-se agrupados por tipo (entidade, produto, ambiente e outros):

- Entidade:
 - $ia_i^{m\acute{a}x}$ – área máxima para a instalação do armazém na localização i ;
 - $ia_i^{m\acute{i}n}$ – área mínima para a instalação do armazém na localização i ;
 - $il_m^{m\acute{a}x}$ – nível de inventário máximo para o produto m ;

- il_m^{\min} – nível de inventário mínimo para o produto m ;
- it_i – custo do terreno por metro quadrado da localização i ;
- ic – custo da construção do armazém por metro quadrado;
- w – número de trabalhadores não especializados por metro quadrado;
- wc_t – custo com os trabalhadores não especializados, para o período t ;
- $staff$ - número de trabalhadores especializados necessários por metro quadrado;
- fwc_t – custo com os trabalhadores especializados, para o período t ;
- uc_t – custos operacionais por metro quadrado instalado, para o período t ;
- $dimprod$ – fator de dimensionamento da instalação segundo o volume do sortido considerado;
- Produto:
 - dem_{mjt} – procura do produto m na loja j , para o período t ;
 - apu_m – área necessária por unidade do produto m para inventário;
 - $apuh_m$ – área necessária por unidade do produto m para *handling*;
 - $mass_m$ – peso da unidade do produto m ;
 - inc – custo de inventário por caixa de produto;
 - ctr – custo de transporte por caixa e por quilómetro percorrido (com apenas um condutor);
- Ambiente:
 - iat_c – fator de caracterização do impacto ambiental da atividade de transporte, na categoria de impacto ReCiPe *Midpoint c*;
 - iai_c – fator de caracterização do impacto ambiental da implementação do armazém na categoria de impacto ReCiPe *Midpoint c*;
 - η_c – fator de normalização para a categoria de impacto ReCiPe *Midpoint c*;
 - iat_p – fator de caracterização do impacto ambiental da atividade de transporte na categoria de impacto PEF p ;
 - iai_p – fator de caracterização do impacto ambiental da implementação do armazém na categoria de impacto PEF p ;
 - η_p – fator de normalização para a categoria de impacto PEF p ;
- Social:
 - Em_i – indicador normalizado da taxa de desemprego da localização i ;
 - Pop_i – indicador normalizado da densidade populacional da localização i ;
- Outros:
 - d_{ij} – distância entre as entidades nas localizações i e j ;
 - $distmax$ – distância máxima percorrida considerando apenas um condutor por veículo;
 - $cond$ – percentagem correspondente ao acréscimo no custo de transporte pela utilização de mais um condutor por camião;
 - $desvio$ – fator de desvio das distâncias calculadas.

5.2.4. Variáveis

Na presente formulação são incluídos três tipos de variáveis de decisão: binárias, contínuas e auxiliares.

Variáveis binárias:

- $x_i = 1$ caso um armazém seja instalado na localização i e $x_i = 0$ caso contrário, com $i \in I_w$.

Variáveis contínuas e não negativas:

- AI_i – área instalada caso o armazém seja instalado na localização i , com $i \in I_w$;
- CI_{it} – capacidade instalada para o armazém implementado na localização i , no período t , com $i \in I_w$ e $t \in T$;
- IP_{mit} – inventário do produto m no armazém implementado na localização i , para o período t , com $(m, i) \in V$ e $t \in T$;
- $IPin_{mi}$ – inventário inicial do produto m no armazém implementado na localização i , com $(m, i) \in V$;
- Z_{ijmt} – fluxo do produto m deslocado entre as entidades em i e j , para o período t , com $(m, i, j) \in O$ e $t \in T$;
- E_{iimt} – fluxo do produto m ficticiamente fornecido ao armazém em i , para o período t , com $(m, i, i) \in B$ e $t \in T$.

Variáveis auxiliares nas funções objetivo:

- y – custos totais da cadeia de abastecimento com as decisões alcançadas pelo modelo;
- $ctransp_{i,j}$ – custo de transporte por caixa e por quilómetro percorrido, dependendo da distância entre as entidades i e j ;
- $ImpAmb$ – indicador do impacto ambiental da cadeia de abastecimento modelada;
- Emp – indicador social baseado na taxa de desemprego que permite avaliar o desempenho social da cadeia modelada;
- Pop – indicador social baseado na densidade populacional que permite avaliar o desempenho social da cadeia modelada;

5.2.5. Formulação matemática

Funções objetivo:

- Dimensão económica:

$$\begin{aligned} \min y = & \sum_{i \in I_w} (it_i \times AI_i + ic \times AI_i) + \sum_{\substack{i \in I_w \\ t \in T}} w \times wc_t \times AI_i + \sum_{\substack{i \in I_w \\ t \in T}} staff \times fwc_t \times AI_i + \sum_{\substack{i \in I_w \\ t \in T}} uc_t \times AI_i \\ & + \sum_{\substack{(m,i) \in V \\ t \in T}} inc \times IP_{mit} \times dimprod \\ & + \sum_{\substack{(m,i,j) \in N \\ t \in T}} 2 \times \frac{d_{ij}}{1 - desvio} \times ctransp_{ij} \times Z_{mijt} \times dimprod \end{aligned} \quad [6]$$

- Dimensão ambiental:

$$\min ImpAmb = \sum_{c \in C} \eta_c \left(\sum_{t \in T} \sum_{(m,i,j) \in O} iat_c \times mass_m \times 2 \times \frac{d_{ij}}{1 - desvio} \times Z_{mijt} \times dimprod \right) + \sum_{i \in I_w} iai_c \times AI_i \quad [7]$$

- Dimensão social:

$$\max Emp = \sum_{i \in I_w} Em_i \times staff \times AI_i + \sum_{i \in I_w} Em_i \times w \times AI_i \quad [8]$$

$$\max Pop = \sum_{i \in I_w} Pop_i \times staff \times AI_i + \sum_{i \in I_w} Pop_i \times w \times AI_i \quad [9]$$

s.a.:

- Inventário inicial:

$$\sum_{i \in I_w} IPin_{mi} = il_m^{min}, m \in M \quad [10]$$

- Balanço de material:

$$E_{iimt} + IP_{mi(t-1)} = \sum_{j \in I_m} Z_{ijmt} + IP_{mit}, i \in I_w \wedge m \in M \wedge t \in T \quad [11]$$

- Custo de transporte:

$$ctransp_{ij} = \begin{cases} ct, & se 2 \times \frac{d_{i,j}}{1 - desvio} \leq distmax, (i,j) \in I \\ (1 + cond) \times ct, & se 2 \times \frac{d_{i,j}}{1 - desvio} > distmax, (i,j) \in I \end{cases} \quad [12]$$

- Procura das lojas:

$$\sum_{i:(m,i,j) \in F} Z_{ijmt} = dem_{mjt}, j \in I_s \wedge m \in M \wedge t \in T \quad [13]$$

- Capacidade das entidades:

$$\sum_{i:(m,i) \in V} IP_{mit} \leq il_m^{max}, m \in M \wedge t \in T \quad [14]$$

$$\sum_{i:(m,i) \in V} IP_{mit} \geq il_m^{min}, m \in M \wedge t \in T \quad [15]$$

$$AI_i \leq ia_i^{max} \times x_i, i \in I_w \quad [16]$$

$$AI_i \geq ia_i^{min} \times x_i, i \in I_w \quad [17]$$

$$AI_i \geq \frac{CI_{it}}{dimprod}, i \in I_w \wedge t \in T \quad [18]$$

$$CI_{it} = \sum_{m:(m,i) \in V} apu_m \times IP_{mit} + \frac{\sum_{(m,j) \in O} apuh_m \times Z_{ijmt}}{52}, i \in I_w \wedge t \in T \quad [19]$$

- Existência de entidades:

$$\sum_{t \in T} \sum_{(m,j) \in O} Z_{ijmt} \geq x_i, i \in I_w \quad [20]$$

As equações [6], [7], [8] e [9] apresentam as funções objetivo do modelo matemático, contemplando as dimensões económica ([6]), ambiental ([7]) e social ([8] e [9]) da cadeia de abastecimento, seguindo o conceito de sustentabilidade nas cadeias.

Assim, a equação [6] consiste na minimização dos custos totais da cadeia de abastecimento modelada. Nesta função são considerados tanto os custos de implementação das instalações, como os custos associados à atividade das mesmas, sendo assim incluídos os seguintes custos:

- custos de implementação (primeira parcela), que calcula os custos associados à compra de terreno, dependendo do preço por metro quadrado dos terrenos onde se pretende construir (it_i), variando segundo a localização i , e das áreas dos armazéns implementados nas diferentes localizações (AI_i), e à construção dos armazéns, considerando o custo da construção dos armazéns por metro quadrado (ic) e a respetiva área (AI_i);
- custos com a mão de obra não especializada (segunda parcela), considerando o número de trabalhadores não especializados por metro quadrado (w), o salário pago a cada trabalhador por período t (wc_t) e a área de cada armazém implementado (AI_i);
- com a terceira parcela obtém-se o custo associado à mão de obra especializada, semelhante à parcela anterior, contemplando, no entanto, o número de trabalhadores especializados por metro quadrado, $staff$, e o salário atribuído a esta classe de trabalhadores (fwc_t);
- custos operacionais (quarta parcela), dependendo da área implementada para cada armazém (AI_i) e do custo associado ao consumo de utilidades, serviços externos, seguros, limpeza, segurança, entre outros, por metro quadrado (uc_t) para cada período t ;
- custos de inventário, quinta parcela, considerando os custos de inventário por caixa (inc) e o inventário em cada armazém nos diferentes períodos t (IP_{mit}), incluindo ainda o fator de dimensionamento ($dimprod$) de modo a considerar a quantidade total de artigos movimentados;
- custos de transporte (sexta parcela), dependendo dos fluxos movimentados de cada produto m entre as entidades em cada período t (Z_{mijt}), do dobro da distância percorrida ($2 \times d_{ij}/(1 - desvio)$) (já que se considera a viagem de retorno ao armazém) e do custo por quilómetro associado ao transporte de unidade de produto ($ctransp_{ij}$), sendo também aplicado o fator de dimensionamento com o intuito de contemplar as quantidades movimentadas de todo o sortido.

A função objetivo referente ao desempenho ambiental, equação [7], consiste na minimização do impacto ambiental da cadeia de abastecimento modelada. Dependendo da metodologia LCIA analisada, a função minimiza o impacto ambiental, para cada categoria de impacto ou danos, da atividade de transporte (primeira parcela) e da instalação dos armazéns (segunda parcela).

Na modelação apresentada, exemplifica-se esta função para a metodologia ReCiPe *Midpoint*, sendo semelhante para a metodologia PEF. Assim, a primeira parcela determina o impacto ambiental dado o fator de caracterização do impacto do transporte por quilograma movimentado e quilómetro percorrido

(iat_c), na categoria *Midpoint c*, o peso dos produtos movimentados ($mass_m$), a distância percorrida entre os armazéns e as lojas (d_{ij}) e o fluxo de produtos entre as entidades durante cada período de tempo. A segunda parcela consiste na soma do produto do impacto ambiental por metro quadrado do armazém instalado em i (iai_c), por categoria *Midpoint c*, pela área implementada (AI_i). Estas duas parcelas são então normalizadas pelo fator η_c . A presente função objetivo integra também o fator de dimensionamento, tendo em vista o estudo do impacto da movimentação do sortido completo.

O desempenho na componente social é avaliado pelas funções objetivo [8] e [9] que maximizam os indicadores sociais. Estas equações consideram a contribuição social da implementação do(s) armazém(ns) segundo o número de colaboradores contratados, sendo que a [8] considera o indicador baseado na taxa de desemprego regional e a [9] o indicador representativo da densidade populacional de cada região. Em ambas as equações, no primeiro termo, a contribuição é calculada pela soma do produto do número de trabalhadores especializados ($staff$), da área de armazém implementada (AI_i) do número de armazéns instalados e do indicador regional (Emp_i ou Pop_i). O segundo termo, retrata a contribuição social da contratação de pessoal não especializado para os armazéns instalados, considerando o número de trabalhadores necessários por metro quadrado (w), a área instalada por armazém implementado (AI_i) e o parâmetro regional. Deste modo, a função [8] privilegia as regiões com maior taxa de emprego e a [9] as zonas de menor densidade populacional.

As restantes equações do modelo definem as restrições impostas. A primeira restrição, [10], remete para o cálculo do inventário inicial existente em cada armazém implementado para os diferentes produtos m ($IPin_{mi}$), assegurando que o inventário de segurança para cada produto (il_m^{min}) é cumprido.

A equação [11] descreve a restrição do balanço de material nos armazéns, que garante que o inventário no período anterior ($IP_{mi(t-1)}$) mais o fluxo de produtos provenientes dos fornecedores (E_{iimt}) é igual ao fluxo de produtos do armazém até às lojas mais o inventário do período (IP_{mit}). Para o período inicial ($t = 1$) o inventário do período anterior ($IP_{mi(t-1)}$) é substituído pela variável $IPin_{mi}$. O fluxo E_{iimt} representa um fluxo fictício de fornecimento, que, na modelação, é definido de modo a satisfazer sempre as necessidades de cada período tendo em conta o inventário existente e a procura registada.

O custo por quilómetro e caixa transportada, $ctransp_{ij}$, encontra-se definido na equação [12], assumindo valores distintos segundo a distância entre as entidades, isto é, caso exceda $distmax$ no total das viagens de ida e volta, o custo de transporte base (ctr) é acrescido de uma percentagem ($cond$), que corresponde ao aumento associado ao condutor extra necessário, caso contrário este fator assume o custo de transporte base (ctr).

A satisfação da procura é assegurada pela equação [13], na qual a procura de cada loja para cada produto (dem_{mjt}) é igualada à soma dos fluxos de produtos dos diferentes armazéns instalados para cada loja (Z_{ijmt}), para cada período t .

As restrições apresentadas nas equações [14] a [19] pretendem definir os limites das capacidades dos armazéns implementados. Assim, as equações [14] e [15] impõem os limites máximo e mínimo aos inventários existentes nas instalações implementadas para cada período e produto.

Já a área implementada para cada localização i é restringida pelas equações [16] e [17], que impõem uma área máxima ($ia_i^{máx}$) e mínima ($ia_i^{mín}$) para cada localização, respetivamente.

A equação [18] garante que a área implementada satisfaz a capacidade máxima necessária ao longo dos períodos. Esta equação considera também o fator de dimensionamento $dimprod$, que permite estabelecer a relação entre a área total necessária para comportar as quantidades movimentadas do sortido completo e área correspondente à capacidade instalada CI_{it} (que contempla 80% das quantidades movimentadas).

A variável CI_{it} utilizada na restrição anterior encontra-se definida na equação [19]. Esta última estabelece a capacidade necessária para comportar os níveis de inventário e fluxos movimentados registados ao longo do tempo. Para a determinação da capacidade respeitante aos fluxos, assumiu-se uma rotação média de uma semana, ou seja, os produtos permanecem em média uma semana dentro dos armazéns, levando à divisão do somatório dos fluxos anuais por 52 semanas. Este pressuposto, contorna o facto de os períodos serem anuais, o que causaria elevadas quantidades de produtos estancados nos armazéns, e levaria à necessidade de capacidades muito elevadas, o que não se verifica na realidade.

Por fim, a equação [20] garante que os armazéns são apenas implementados caso existam fluxos de produtos que neles circulem.

Novamente, devido à menor complexidade da cadeia de abastecimento em estudo, a presente modelação não contempla restrições respeitantes às tecnologias utilizadas, aos diferentes meios de transporte e as atividades associadas, à seleção de fornecedores e às atividades de produção e remanufatura, que se encontram definidas no trabalho Mota et al. (2016)

5.3. Conclusões do capítulo

No presente capítulo apresentou-se modelo considerando os seus parâmetros, variáveis, funções objetivo e restrições impostas.

Deste modo, o modelo descrito consiste num MILP, que contempla quatro funções objetivo que têm em vista a análise do desempenho da cadeia de abastecimento considerando as suas dimensões económica, ambiental e social. A função económica minimiza o custo total associado à implementação e atividade da cadeia de abastecimento. A função objetivo da dimensão ambiental minimiza o impacto ambiental da cadeia de abastecimento, que pode ser obtido por diferentes metodologias LCIA. Por fim, as funções objetivo sociais maximizam separadamente o impacto da cadeia de abastecimento considerando os indicadores sociais que tomam por base a taxa de desemprego e densidade populacional regionais.

O modelo tem como objetivo a definição adequada da configuração da cadeia de abastecimento, pretendendo apoiar a tomada de decisão relativa ao número e localização dos seus armazéns, a respetiva dimensão, os artigos que armazenam e as regiões que abastecem.

Capítulo 6 – Aplicação do Modelo de Otimização

No presente capítulo, num primeiro momento, descrevem-se os diversos cenários a analisar e os consequentes resultados obtidos com a aplicação do modelo de otimização (secção 6.1) e num segundo momento realiza-se uma análise de sensibilidade a parâmetros do modelo suscetíveis de maior incerteza (secção 6.2).

6.1. Cenários e resultados

Com o objetivo de analisar o desempenho da cadeia de abastecimento de congelados da JM nas três dimensões do conceito de sustentabilidade definem-se vários cenários, explicitados na figura 17, de modo a compreender como as diferentes decisões nos níveis estratégico e tático da cadeia influenciam cada dimensão do seu desempenho.

Situação Atual	<ul style="list-style-type: none">• Cenário A: Cadeia de abastecimento atual
Adaptações da situação atual	<ul style="list-style-type: none">• Cenário B: Cadeia de abastecimento considerando todas as localizações atuais• Cenário C: Cadeia de abastecimento considerando que apenas o armazém do Sul tem fast movers
Dimensão Económica (minimização dos custos totais)	<ul style="list-style-type: none">• Cenário D: Cadeia de abastecimento considerando todas as localizações possíveis• Cenário E: Cadeia de abastecimento considerando todas as localizações possíveis (e áreas reais)• Cenário F: Cadeia de abastecimento com no máximo três armazéns, considerando todas as localizações possíveis
Dimensão Ambiental (minimização dos impactos ambientais)	<ul style="list-style-type: none">• Cenário G: ReCIpe MidPoint Hierarchical• Cenário H: ReCIpe MidPoint Egalitarian• Cenário I: ReCIpe MidPoint Individualist• Cenário J: PEF
Dimensão Social (maximização do desempenho social)	<ul style="list-style-type: none">• Cenário K: Desempenho social da cadeia de abastecimento• Cenário L: Maximização do indicador com base na taxa de desemprego considerando um aumento de 5% dos custos totais• Cenário M: Maximização do indicador com base na taxa de desemprego considerando um aumento de 5% dos custos totais

Figura 17: Cenários a analisar.

Nas subsecções seguintes (6.1.1 a 6.1.5) são expostos os resultados obtidos para cada cenário de cada conjunto, sendo num primeiro momento explicitada a configuração obtida em cada cenário e posteriormente os resultados quanto aos desempenhos das mesmas, os quais são apresentados em conjunto no fim de cada subsecção, de modo a facilitar a comparação entre os mesmos. Já na subsecção 6.1.6 contempla-se uma análise multiobjectivo, seguida da comparação final entre os melhores resultados obtidos nos conjuntos na subsecção 6.1.7, e, por fim são apresentados os resultados computacionais na 6.1.8. Realça-se que, por defeito, caso não explicitado nos cenários, a metodologia LCIA utilizada é ReCiPe *Midpoint*, considerando a perspetiva cultural *hierarchical*.

6.1.1. Situação Atual

Com a modelação do cenário definido como a situação atual, pretende-se validar os resultados obtidos pelo modelo aplicado e analisar possíveis limitações da atual cadeia de abastecimento.

6.1.1.1. Cenário A: Cadeia de abastecimento atual

Este cenário considera a real configuração da cadeia de abastecimento modelada, contemplando a existência de três armazéns nos distritos de Porto, Lisboa e Faro, as lojas que cada um abastece especificamente e as suas dimensões.

Numa primeira tentativa de modelar o caso real, definiram-se as áreas dos armazéns existentes tal como descritas. Contudo, a área atualmente existente não é suficiente pelo que não foi possível obter um resultado para este cenário, já que o modelo descrito pretende satisfazer a procura. Após discussão com a JM, concluiu-se que este resultado era razoável, já que a presente cadeia de abastecimento funciona acima do limite das suas capacidades. Deste modo, aumentou-se o limite máximo da dimensão do armazém do MARL, de forma a comportar toda a atividade que excede a capacidade atual, pois, além de se encontrar no limite das suas capacidades, é o único que não pertence ao grupo e, como tal, em caso de reestruturação, este seria a primeira opção de modificação para o controlo completo da cadeia de abastecimento por parte do grupo. Considerando as alterações descritas, descreve-se a configuração da cadeia de abastecimento no cenário A na tabela 17.

Tabela 17: Configuração da cadeia de abastecimento do cenário A (cenário real).

Armazéns implementados	Vila do Conde	MARL	Algoz
Área (m ²)	6.000	1.800	1.250
Lojas abastecidas	39%	52%	9%
Produtos armazenados	Todos	<i>Fast movers</i>	<i>Fast movers</i>

Com o objetivo de validar os resultados obtidos pelo modelo, considerou-se a atividade do armazém da região Norte (Vila do Conde) no ano de 2014 e os custos associados, comparando a distribuição dos seus custos operacionais, de inventário e pessoal com os custos anuais do cenário A, tal como representado na tabela 18. Observou-se que, neste conjunto de custos, o custo associado ao pessoal domina em ambas as situações com percentagens semelhantes. No entanto, existe uma permutação de importância dos custos operacionais e de inventário entre os dois casos, o que se justifica pelo facto do presente modelo manter os níveis de inventário sempre no mínimo, visto não serem contempladas restrições quanto às exigências impostas por alguns fornecedores (local de entrega, quantidades mínimas, etc.) e, como tal, o impacto dos custos de inventário é minorado.

Tabela 18: Validação do modelo.

Custos	Vila do Conde (2014)	Cenário A
Pessoal	41,09%	37,21%
Operacionais	26,15%	33,55%
Inventário	32,76%	29,24%

6.1.2. Adaptações da situação atual

A análise deste conjunto de cenários foi realizada com o intuito de investigar possíveis modificações da presente configuração, considerando apenas as localizações existentes, tal como pedido pela JM.

6.1.2.1. Cenário B: Cadeia de abastecimento considerando as localizações atuais

O corrente cenário modela a cadeia de abastecimento considerando as atuais localizações dos armazéns, permitindo, no entanto, a modificação das dimensões (capacidade) dos mesmos, bem como permitindo a alteração da rede em termos das lojas que são abastecidas por cada armazém. Assim, a configuração da cadeia de abastecimento deste cenário é apresentada na tabela 19, na qual se observa uma considerável diferença na dimensão dos armazéns do Norte e Centro, comparando com a do cenário A, e uma redistribuição das zonas de abastecimento de cada armazém, destacando-se um conjunto de lojas, anteriormente alocadas ao MARL, atribuídas a Vila do Conde.

Realça-se que, para as três atuais localizações impôs-se como limite máximo das suas áreas, a real dimensão do maior armazém da atual cadeia de abastecimento ($6.000m^2$).

Tabela 19: Configuração da cadeia de abastecimento obtida com o cenário B.

Armazéns implementados	Vila do Conde	MARL	Algoz
Área (m^2)	3.332	4.220	1.344
Lojas abastecidas	42%	49%	9%
Produtos armazenados	Todos	Todos	Todos

As presentes modificações são resultado da minimização das distâncias percorridas entre armazéns e lojas, sendo que no cenário real existem lojas que não são abastecidas pelo armazém mais próximo. As áreas obtidas são justificadas pelo armazenamento do sortido completo em todos os armazéns, de modo a eliminar o *transshipment* e, conseqüentemente, o custo associado a esta atividade.

6.1.2.2. Cenário C: Cadeia de abastecimento considerando que apenas o armazém do Sul tem *fast movers*

Este cenário tem como objetivo a modelação da cadeia de abastecimento com as características reais, ou seja, dimensões reais e conjuntos de lojas alocadas a cada armazém existentes, diferenciando apenas nos artigos armazenados, sendo que no presente cenário considera-se possível armazenar todo o sortido no MARL, e não apenas *fast movers*. Contudo, obteve-se uma configuração igual à descrita no cenário A na anterior tabela 17, já que com a conservação das áreas dos armazéns, em particular no MARL que mesmo sem a restrição de apenas artigos *fast movers*, armazena somente este tipo de artigos, pois não tem espaço para suportar o sortido completo. Este fenómeno resulta da minimização de custos do modelo, que, com a restrição da área disponível no MARL, opta por alocar os produtos que têm maior impacto nos custos de transporte, isto é, que apresentam quantidades movimentadas consideravelmente superiores, que é caso dos *fast movers*, mantendo assim os *slow movers* armazenados apenas no armazém de Vila do Conde.

6.1.2.3. Comparação dos cenários considerando as funções objetivo:

Analisando o conjunto dos cenários anteriormente descritos segundo o seu desempenho nas diferentes dimensões consideradas, na tabela 20 destacam-se os melhores e piores desempenhos que estão coloridos a verde e vermelho, respetivamente. Nesta imagem observa-se que o cenário B apresenta o melhor desempenho nas dimensões económica, ambiental e segundo o indicador social da densidade populacional. Em oposição aos restantes cenários que apresentam o melhor desempenho no indicador baseado na taxa de desemprego. As diferenças nas dimensões económica e ambiental entre o cenário

B e os cenários A e C, são resultado da inexistência da restrição das áreas reais no cenário B, o que permite um redimensionamento e realocação das zonas de abastecimento e de artigos armazenados de cada armazém, possibilitando a redução do impacto dos transportes em ambas as dimensões, com a redução das distâncias percorridas entre armazéns e lojas que abastecem. Já no desempenho social, por um lado, o cenário B contempla um valor pior no indicador da taxa de desemprego, uma vez que estabelece o maior armazém no MARL, empregando mais trabalhadores numa região com menor taxa de desemprego. Em contraste, este cenário apresenta melhor desempenho segundo o indicador de densidade populacional, pois aumenta a área de armazém implementada no MARL e em Algoz, regiões estas que apresentam uma menor densidade populacional quando comparadas com Vila do Conde.

Tabela 20: Desempenho nas funções objetivo dos cenários A, B e C.

Cenários	A/C	B
Custo total (10³€)	70.836	54.079
Impacto ambiental total (ptos)	61.990 (=48.657+ 13.333)	38.413 (=28.255+ 10.158)
Benefício social (taxa de desemprego) (ptos)	100,738	96,020
Benefício social (densidade populacional)	36,856	41,638
Nº de instalações	3	3

Em detalhe, focando o desempenho económico da cadeia de abastecimento modelada em cada cenário, descrito na tabela 21, observa-se que os custos associados à atividade de transporte representam a rubrica com maior impacto nesta dimensão para todos os cenários. Uma vez que o presente trabalho estuda a tomada de decisão no plano estratégico-tático, considera-se um período de dez anos e, conseqüente, o impacto do custo inicial associado à implementação das instalações é, na maioria dos casos, desvalorizado quando comparado com os custos associados à atividade dos armazéns no decorrer dos anos. Assim o presente trabalho revela que, no longo prazo, um maior investimento inicial associado a localizações em regiões mais caras ou um maior número de armazéns pode ser compensador, visto possibilitar uma redução nos custos de transporte.

Tabela 21: Desempenho económico obtidos nos cenários A, B e C.

Custos ((10 ³ €)	A/C	%	B	%
Implementação	7.044	-	7.058	-
Pessoal não especializado	6.220	10	6.113	13
Pessoal especializado	4.023	6	3.954	9
Operacionais	9.234	14	9.076	19
Inventário	8.046	13	8.046	17
Transportes	36.269	57	19.831	42

Analisando apenas os custos associados à atividade da cadeia de abastecimento (excluindo os custos de implementação), observa-se que os custos com o pessoal e operacionais são superiores nos cenários A e C, uma vez que a área implementada nestes é mais elevada e, sendo estes custos associados diretamente à dimensão da instalação, este fator tem impacto direto nestes custos. A discrepância entre as áreas implementadas nos cenários resulta do excesso de capacidade existente na região Norte nos cenários A e C, que modelam as dimensões reais. Já os custos de inventário são

semelhantes entre os vários cenários, pois a procura é idêntica entre os cenários e como tal, também os inventários mínimos impostos. Nos custos de transporte, constata-se uma elevada discrepância entre os cenários, sendo que os cenários A e C apresentam o maior valor, quase duas vezes superior ao contemplado no cenário B. Este resultado é motivado pelas diferentes configurações da cadeia de abastecimento consideradas nos cenários que, no cenário B, permite uma redução nas distâncias percorridas entre armazéns e lojas, culminando numa quebra de 45% dos custos de transporte.

Realça-se ainda que, apesar da menor área instalada, o cenário B apresenta um maior custo de implementação, já que implementa um maior armazém no MARL, sendo esta uma região mais cara.

Assim, para obter o melhor desempenho, contemplando as atuais localizações, seria necessário redimensionar as instalações de acordo com a procura e modificar as zonas de distribuição de cada armazém, de modo a otimizar as distâncias percorridas.

6.1.3. Dimensão Económica

Na presente subsecção são definidos quatro cenários tendo em vista o estudo da configuração da cadeia de abastecimento aquando da minimização dos custos totais. Estes cenários, contrariamente aos anteriores, não são adaptações do cenário original, e distinguem-se pelos limites de área impostos em certas localizações e na existência ou não de número máximo de armazéns.

6.1.3.1. Cenário D: Cadeia de abastecimento considerando todas as localizações possíveis

Este cenário considera todas as localizações modeladas (reais e definidas neste trabalho), não impondo as áreas reais das atuais localizações. Assim, minimizou-se a função objetivo do custo total, resultando numa cadeia de abastecimento, descrita na tabela 22, com instalações em sete das nove localizações possíveis, nas quais se incluem as atuais.

Tabela 22: Configuração da cadeia de abastecimento obtida com o cenário D.

Armazéns implementados	Aveiro	Braga	Sintra	Barreiro	MARL	Vila do Conde	Algoz
Área (m^2)	1200	1000	1057	1486	1734	1418	1000
Lojas abastecidas	15%	11%	11%	16%	20%	18%	9%
Produtos armazenados	Todos	Todos	Todos	Todos	Todos	Todos	Todos

Apesar de todos os armazéns disporem do sortido completo, o presente cenário supõe *transshipment* entre armazéns para períodos em que a capacidade do armazém mais próximo não é suficiente. Ou seja, quando a área do armazém de localização mais próxima é excedida o modelo aloca o *stock* a outro armazém, realizando posteriormente *transshipment*. A possibilidade de *transshipment* é apenas viável, pois existe uma imposição de uma área mínima para implementação de qualquer armazém ($1000m^2$), implicando que a área implementada possa ser superior à necessária para satisfazer a procura das lojas que o armazém abastece, como é o caso de Braga e Algoz e como tal, que estes consigam armazenar produtos para outras localizações. Deste modo, apesar de se provocar um aumento no custo de transporte, o *transshipment* permite uma ocupação mais eficiente do espaço total de armazém, combatendo ainda a variabilidade da procura nas diferentes regiões e períodos. Observando a distribuição de lojas por armazém e a respetiva dimensão, destaca-se a correspondência entre estes dois fatores na cadeia de abastecimento definida, com a implementação de maiores áreas para os armazéns que abastecem um maior número de lojas e quantidades superiores.

6.1.3.2. Cenário E: Cadeia de abastecimento considerando todas as localizações possíveis (com a fixação das áreas dos armazéns já existentes)

O presente cenário assemelha-se ao cenário D, contudo, no atual foram fixadas as dimensões dos armazéns já existentes, não sendo possível a sua expansão. Consequentemente, com a minimização da função objetivo do custo estabeleceu-se a configuração descrita na tabela 23. A configuração apresentada inclui seis armazéns, entre os quais os três armazéns atuais que se diferenciam da situação real por contemplarem o sortido completo e uma redistribuição das lojas abastecidas. Os restantes armazéns implementados surgem em localizações caracterizadas por elevadas procuras e concentração de superfícies e menor preço de terreno por metro quadrado.

Tabela 23: Configuração da cadeia de abastecimento obtidas com o cenário E.

Armazéns implementados	Braga	Sintra	Barreiro	Vila do Conde	MARL	Algoz
Área (m ²)	1000	1063	1236	6000	1600	1250
Lojas abastecidas	13%	12%	15%	32%	18%	10%
Produtos armazenados	Todos	Todos	Todos	Todos	Todos	Todos

O presente cenário contempla também *transshipment* entre os vários armazéns, sendo que, devido à definição das áreas dos atuais armazéns e ao limite mínimo da área a implantar para os restantes, este fenómeno apresenta maior expressão em comparação com os cenários anteriores.

6.1.3.3. Cenário F: Cadeia de abastecimento com três armazéns no máximo, considerando todas as localizações possíveis

No presente cenário estabeleceu-se que a cadeia de abastecimento poderia integrar no máximo de três armazéns. Esta limitação surge em resposta ao facto da presente modelação não contemplar restrições impostas por fornecedores, presumindo que qualquer quantidade encomendada é entregue no armazém e período desejados. Contudo, esta realidade nem sempre se verifica, pois, muitos fornecedores impõem quantidades mínimas de encomenda e não efetuam entregas em todas as localizações (sendo o custo de transporte até ao armazém da sua responsabilidade). Além disso JM não demonstra interesse em investir e gerir mais que três armazéns.

Com esta restrição e minimizando os custos totais da cadeia obteve-se uma configuração idêntica à descrita no cenário B, contemplando os três armazéns existentes, as mesmas dimensões e distribuição de regiões de abastecimento. Assim, conclui-se que as atuais localizações são adequadas às necessidades da cadeia de abastecimento considerando apenas três instalações, necessitando, no entanto, de redimensionamento e redistribuição de lojas por armazém, tal como descrito na configuração da cadeia de abastecimento obtida no cenário B (tabela 19). A seleção destas localizações por parte do modelo reflete na sua maioria a distribuição geográfica da procura e lojas, de modo a reduzir o impacto da atividade de transporte.

6.1.3.4. Comparação dos cenários considerando as funções objetivo:

Avaliando o desempenho das cadeias de abastecimento definidas pelos cenários D, E e F nas três dimensões de sustentabilidade, exposto na tabela 24, observa-se que o cenário D apresenta o melhor desempenho tanto na dimensão económica como na ambiental, o que se justifica pelo facto de ser o cenário com o menor número de restrições impostas, permitindo a maior redução no custo total, através da diminuição das distâncias percorridas, minorando o impacto dos transportes. Na presente

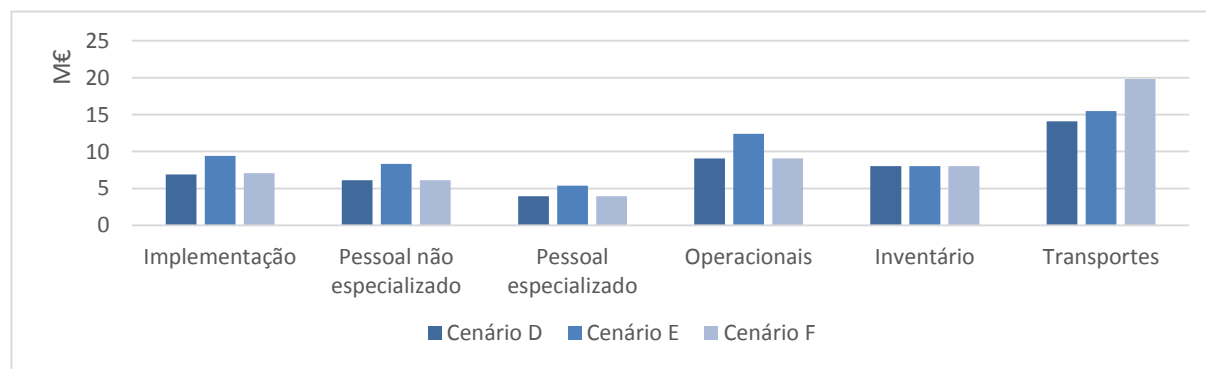
modelação, a minimização dos custos tem um impacto direto na redução do impacto ambiental, uma vez que a atividade de transporte tem o maior impacto em ambas as dimensões, quando considerada a metodologia ReCiPe Midpoint.

Tabela 24: Desempenho nas funções objetivo dos cenários D, E e F.

Cenários	D	E	F
Custo total (10³€)	48.192	59.094	54.079
Impacto ambiental total (transp.+impl.) (ptos)	30.241 (=20.083 + 10.158)	35.957 (=22.084 + 13.873)	38.413 (=28.255+ 10.158)
Benefício social (taxa de desemprego) (ptos)	94,627	133,134	96,020
Benefício social (densidade populacional)	34,229	41,765	41,638
Nº de instalações	7	6	3

Com o pior desempenho na dimensão económica surge o cenário E, que na sua configuração inclui os armazéns existentes com as suas áreas reais fixas, resultando na maior área total implementada. O modelo opta por implantar área excessiva, uma vez que o investimento extra na implementação é compensado pela redução nos custos de transporte. Associado à área superior, este cenário apresenta o melhor desempenho considerando ambos os indicadores sociais, já que o número de trabalhadores empregue está dependente da área implementada. Realça-se ainda o desempenho do cenário F que apresenta o maior impacto ambiental deste conjunto, valor que é motivado pelo menor número de instalações implementadas, aumentando o impacto da atividade de transporte (28.255 pontos), que representa cerca de 74% do impacto ambiental total da cadeia de abastecimento neste cenário.

Focando apenas a dimensão económica apresenta-se a figura 18, na qual são comparados os quatros cenários da presente subsecção segundo os custos considerados no modelo.



Custos (10 ³ €)	Cenário D	%	Cenário E	%	Cenário F	%
Implementação	6.904	14	9.412	16	7.058	13
Pessoal não especializado	6.113	12	8.350	14	6.113	11
Pessoal especializado	3.954	8	5.400	9	3.954	7
Operacionais	9.076	19	12.396	21	9.076	17
Inventário	8.046	17	8.046	14	8.046	15
Transportes	14.098	30	15.490	26	19.831	37

Figura 18: Desempenho económico dos cenários D, E e F num período de 10 anos.

Tal como já mencionado, como se considera um período de 10 anos, as rubricas de custo associadas à atividade da cadeia de abastecimento assumem um maior impacto quando comparado com o dos

custos de implementação. Em particular, a atividade de transporte, que apresenta um peso que varia de 26% (cenário E) a 37% (cenário F) do custo total da cadeia de abastecimento, sendo dominante em todos os cenários. Este fenómeno justifica assim a preponderância de configurações com um elevado número de instalações, tendo em vista a aproximação dos armazéns às lojas, por forma a reduzir a atividade de transporte. Assim, o cenário E, apesar de ter o maior custo total, por apresentar um custo de transporte inferior ao F, com a consideração de um período temporal superior ao deste trabalho, poderá ter uma configuração mais favorável que F, apresentando um custo total inferior no longo prazo. Analisando os custos de implementação, o cenário E apresenta o maior valor, uma vez que, como já mencionado, é o cenário com maior área implementada. Já o cenário D contempla o menor custo, pois além de uma área reduzida, considera maiores áreas em localizações de menor custo.

Os custos de inventários são semelhantes para todos os cenários, pois o inventário mantém-se sempre no seu valor mínimo ao longo de todo o período, já que não são considerados limitações de abastecimento por parte dos fornecedores. Também os custos com o pessoal e operacionais se mantêm constantes, facto que justifica por os diferentes cenários instalarem uma área total de armazém semelhante, com exceção do cenário E, que apresenta uma área superior e, conseqüentemente, maior impacto nestas duas rúbricas.

6.1.4. Dimensão Ambiental

Esta subsecção contempla quatro cenários, definidos com o intuito de avaliar o impacto do desempenho ambiental na definição da cadeia de abastecimento, considerando diferentes metodologias LCIA e a minimização da função do impacto associado.

6.1.4.1. Cenários ReCiPe *MidPoint*

Neste conjunto de cenários recorreu-se à metodologia LCIA ReCiPe *Midpoint* considerando as suas 19 categorias de impacto e as três perspetivas culturais, tal como definidas por Hofstetter (1998):

- **Cenário G: “Hierarchical”:** cenário neutro, que demonstra elevada confiança nos pareceres de peritos para guiar o seu processo decisivo quanto aos critérios incluídos na avaliação do desempenho ambiental;
- **Cenário H: “Egalitarian”:** perspetiva de uma natureza frágil e efémera, requerendo um estilo de gestão preventivo, contemplando não só os danos verificados, mas também os possíveis, o que se traduz num maior grau de incerteza associado.
- **Cenário I: “Individualist”:** perspetiva propensa ao risco que recorre a um estilo de gestão adaptativo, baseada no conhecimento prático e em relações causa-efeito, demonstrando confiança num comportamento benéfico da natureza.

Com a implementação dos fatores de caracterização (descritos nas tabelas I.1 e I.2 do Anexo I) das diversas categorias de impacto para as diferentes perspetivas culturais consideradas nestes cenários no modelo e com a conseqüente minimização do impacto ambiental obtiveram-se as configurações descritas na tabela 25. Este elemento revela a semelhança entre as resultantes configurações, que apresentam apenas pequenas variações nos sete armazéns implementados, revelando a mesma distribuição de lojas por armazém. Assim, apesar das perspetivas e impactos distintos, a configuração permanece praticamente inalterada, revelando que esta configuração é a melhor para qualquer

perspetiva considerada. As pequenas variações verificadas nas áreas dos armazéns entre os cenários devem-se à liberdade dada pelo modelo a estas variáveis na minimização do impacto ambiental, existindo variadas configurações que permitem estabelecer o ótimo ambiental, o que causa oscilações nos desempenhos económico e social, em resposta à variação dos custos de implementação e à distribuição de área, e trabalhadores, pelas diferentes regiões.

Tabela 25: Configuração da cadeia de abastecimento dos cenários G, H, I.

Cenário	Armazéns implementados	Aveiro	Braga	Sintra	Barreiro	MARL	Vila do Conde	Algoz
G	Área (m ²)	1232	1000	1080	1157	1917	1509	1000
	Lojas abastecidas	15%	10%	11%	15%	22%	18%	9%
H	Área (m ²)	1238	1000	1089	1163	1902	1502	1000
	Lojas abastecidas	15%	10%	11%	15%	22%	18%	9%
I	Área (m ²)	1235	1000	1083	1163	1908	1505	1000
	Lojas abastecidas	15%	10%	11%	15%	22%	18%	9%
G,H,I	Produtos armazenados	Todos	Todos	Todos	Todos	Todos	Todos	Todos

Com o intuito de perceber as diferenças no impacto ambiental da cadeia de abastecimento considerando cada perspetiva cultural analisou-se o impacto normalizado por categoria, que se encontra representado nas figuras 19 e 20, para a implementação das instalações e para a atividade de transporte, respetivamente.

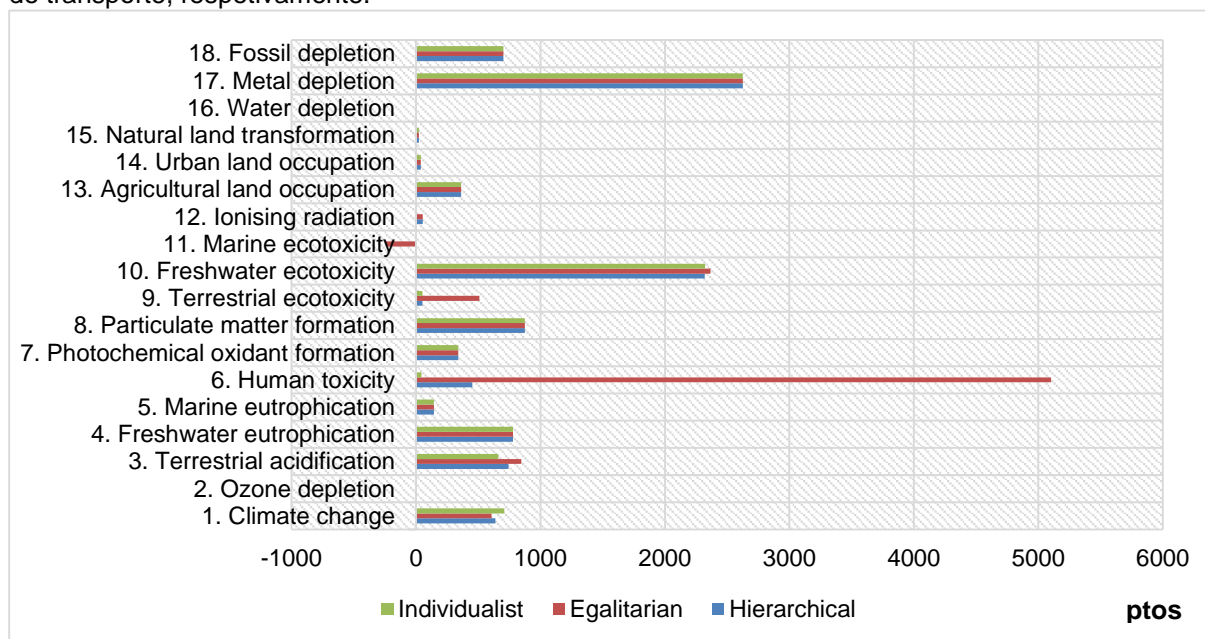


Figura 19: Impacto da implementação dos cenários G, H e I para cada categoria de impacto ReCiPe Midpoint.

Considerando a implementação dos armazéns destaca-se, em todos os cenários, a relevância das categorias “Metal depletion” e “Freshwater ecotoxicity”, valores que são motivados por ser uma atividade de construção que requer materiais metálicos e pressupõe possíveis descargas poluentes resultantes da implementação e atividade das instalações. No caso do cenário H (*egalitarian*), a categoria “Human toxicity” apresenta também um elevado impacto, sendo mesmo a maior, já que a perspetiva *egalitarian* segue uma abordagem preventiva, antevendo possíveis danos graves no ser

humano, preocupação esta que se transcreve num fator de caracterização cerca 100 e 10 vezes superior aos fatores utilizados nas perspetivas *individualist* e *hierararchical*.

Outras categorias que apresentam impactos distintos entre as perspetivas passam pelas “*Marine toxicity*”, “*Terrestrial ecotoxicity*”, “*Terrestrial acidification*” e “*Climate change*”. Nas categorias “*Terrestrial ecotoxicity*” e “*Terrestrial acidification*” verifica-se que a perspetiva *egalitarian*, como expectável, apresenta maior impacto que as restantes. No entanto, nas categorias “*Climate change*” e “*Marine toxicity*” o padrão é invertido, sendo a perspetiva *egalitarian* a que contempla o menor impacto. Na categoria “*Climate change*”, este facto justifica-se pela consideração da dispersão do impacto na perspetiva *egalitarian*, diluindo o efeito do mesmo; já na categoria “*Marine toxicity*” observa-se um impacto negativo, ou seja, benéfico para o meio ambiente, que dificilmente se traduz na realidade. Apesar da falta de informação que justifique este fenómeno, conjectura-se a atribuição de créditos a um possível efeito desta atividade na presente categoria que possa favorecer a natureza. Excetuando as categorias 1, 3, 6, 9 e 11, o desempenho nas restantes categorias é transversal às três perspetivas, uma vez que o fator de caracterização é idêntico entre si.

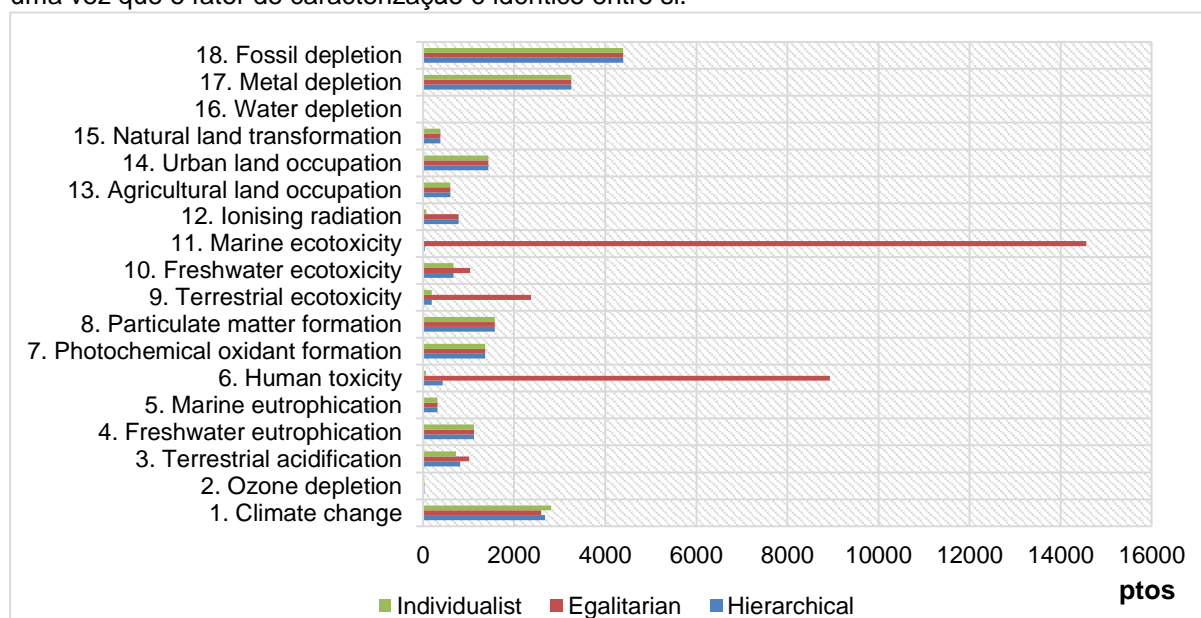


Figura 20: Impacto do transporte dos cenários G, H e I para cada categoria de impacto ReCiPe Midpoint.

O impacto da atividade de transporte é descrito na figura 21, sendo contempladas as três perspetivas. Nesta figura, considerando o impacto para todas as perspetivas em simultâneo, com maior expressão destacam-se as categorias “*Fossil depletion*”, “*Metal depletion*” e “*Climate change*”, desempenho este que é justificado pelo facto de retratar a atividade de transporte, que pressupõe o consumo de combustíveis fósseis e emissão de gases com efeito estufa. Tal como descrito e justificado anteriormente, também na presente análise a categoria “*Climate change*” apresenta maior impacto na perspetiva *individualist* e *hierararchical*. Contemplando apenas a perspetiva *egalitarian*, realçam-se os impactos nas categorias “*Marine ecotoxicity*” e “*Human toxicity*”, por ser a perspetiva mais cautelosa. Quando comparada com as perspetivas *hierararchical* e *individualist*, “*Human toxicity*”, na perspetiva *egalitarian*, apresenta um fator de caracterização (Anexo I, tabela I.1) cerca de 20 e 140 vezes superiores, respetivamente. Considerando “*Marine toxicity*”, a perspetiva *egalitarian* surge com um fator de caracterização (Anexo I, tabela I.1) 450 e 900 vezes maior, em comparação com as *hierararchical* e

individualist, respetivamente. Este fenómeno é justificado pela abordagem mais pessimista considerada pela *egalitarian*, supondo um agravamento da condição humana e da vida marinha com a as emissões poluentes advindas da atividade de transporte.

Realça-se ainda que o impacto da atividade de transporte ultrapassa o verificado para a implementação das instalações em todas as categorias de impacto, com exceção da “*Freshwater toxicity*” que revela um valor mais de duas vezes superior ao verificado nos transportes, para qualquer perspetiva considerada, tal como observável na tabela I.3 do Anexo I, facto que é motivado por se tratar de armazéns cuja atividade podem culminar na contaminação de cursos de água circundantes.

6.1.4.2. Cenário J: Cenário E com PEF

No atual cenário considerou-se a metodologia PEF, sendo minimizada a função objetivo associada à dimensão ambiental. Consequentemente, obteve-se o cenário descrito na tabela 26, contemplando, à semelhança dos restantes cenários da presente subsecção, a implementação de sete armazéns nas mesmas localizações, com dimensões e número de lojas abastecidas semelhantes.

Tabela 26: Configuração da cadeia de abastecimento do cenário J.

Armazéns implementados	Aveiro	Braga	Sintra	Barreiro	MARL	Vila do Conde	Algoz
Área (m ²)	1200	1000	1046	1138	2015	1450	1046
Lojas abastecidas	15%	10%	11%	15%	22%	18%	9%
Produtos armazenados	Todos	Todos	Todos	Todos	Todos	Todos	Todos

Analisando o desempenho da cadeia de abastecimento por categoria de impacto, tal como apresentado na figura 21, observa-se a dominância, tanto no transporte como na implementação, das categorias “*Mineral, fossil & ren resource depletion*” e “*Water resource depletion*”. Na categoria 16 destaca-se o impacto da implementação dos armazéns, valor que se justifica por se tratar de um processo de construção civil, implicando o consumo destes recursos, através de utilização de maquinaria. Referente ainda a esta categoria, o impacto obtido é ainda enfatizado pela metodologia considerada (PEF), uma vez que esta atribui um fator de normalização de 9,9 (tabela I.2), causando a dominância do impacto imputado à implementação, uma vez que potencia a categoria em que esta apresenta o seu maior impacto. Com menor discrepância entre os impactos do transporte e da implementação, a categoria 15 apresenta maior impacto no transporte, facto que pode ser motivado por desperdícios de água associados a esta atividade.

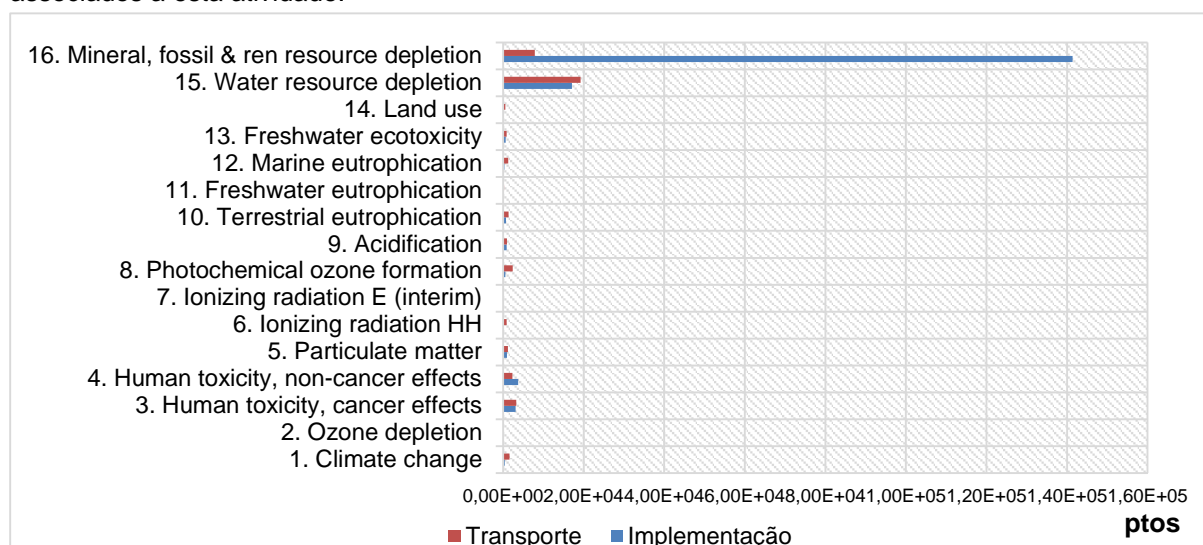


Figura 21: Impacto da implementação de instalações e do transporte do cenário J para cada categoria de impacto PEF.

6.1.4.3. Comparação dos cenários

Considerando o desempenho dos cenários da presente subsecção nas diferentes dimensões de sustentabilidade, sumariadas na tabela 27, observa-se a semelhança entre os desempenhos obtidos nas dimensões económica e social, uma vez que as configurações obtidas pouco diferem entre si, sendo que, como mencionado anteriormente, as diferenças são justificadas pela liberdade dada às variáveis das áreas no modelo na minimização do impacto ambiental.

Tabela 27: Desempenho nas funções objetivo dos cenários G, H, I e J.

Cenários	G (<i>MidPoint Hierarchical</i>)	H (<i>MidPoint Egalitarian</i>)	I (<i>MidPoint Individualist</i>)	J (PEF)
Custo total (10³€)	48.263	48.313	48.235	48.785
Impacto ambiental total (ptos)	30.232	60.912	28.714	214.432
Impacto ambiental: implementação	34%	25%	34%	79%
Impacto ambiental: transporte	66%	75%	66%	21%
Benefício social (taxa de desemprego)	94,051	94,049	94,054	94,062
Benefício social (densidade populacional)	34,490	34,484	34,486	35,500
Nº de instalações	7	7	7	7

Focando o desempenho ambiental, como expectável, o cenário I apresentar o menor valor, seguido do G e, por fim, o H, quando considerando a metodologia ReCiPe *Midpoint*. Observando a distribuição do impacto total pela atividade de transporte e implementação, constata-se a dominância do transporte nos cenários G, H e I, justificada pela importância atribuída a este na metodologia ReCiPe. Já com o PEF, verifica-se a situação inversa, como já mencionado, resultante do destaque atribuído pela metodologia PEF à categoria em que a implementação apresenta maior impacto. Realça-se ainda que a configuração no PEF se mantém semelhante às obtidas nos cenários que visam a metodologia ReCiPe *Midpoint*, mesmo apesar de contemplar um maior impacto para os armazéns implementados, pois, a área implementada tem de ser suficiente para satisfazer a procura e de modo a minimizar os impactos ambientais da instalação, esta área total é também minimizada em todos os cenários da presente subsecção. Como a área é minimizada, o modelo segue a otimização minimizando o impacto do transporte pela distribuição geográfica dos armazéns mais adequada à redução das distâncias percorridas entre as entidades da cadeia de abastecimento. Destaca-se que não existe diferenciação regional dos impactos ambientais causados, sendo considerado o mesmo fator de caracterização ambiental em todas as localizações para cada cenário.

6.1.5. Dimensão Social

A atual subsecção compreende a análise do impacto da dimensão social na configuração da cadeia de abastecimento, sendo definidos três cenários considerando a maximização da performance social para ambos os indicadores sociais.

6.1.5.1. Cenário K: Desempenho social da cadeia de abastecimento

O presente cenário contempla a maximização do desempenho social total, considerando ambos os indicadores sociais. Assim, como esperado, a cadeia de abastecimento definida inclui a implementação de armazéns em todas as localizações possíveis com dimensões correspondentes às áreas máximas, uma vez que o número de trabalhadores empregue é estabelecido com base na área implementada. Considera-se a configuração obtida neste cenário irrealista e ineficiente, pelo que a mesma não é apresentada, pois não existe volume suficiente de produtos nos nove armazéns implementados que justifiquem a sua dimensão e número de trabalhadores contratados, o que inviabiliza a livre maximização das funções objetivo sociais.

6.1.5.2. Cenário L: Maximização do indicador com base na taxa de desemprego, considerando um aumento de 5% dos custos totais

Não sendo razoável a livre maximização do indicador, visto se traduzir num acréscimo impraticável no custo da cadeia e tornar a cadeia ineficiente por excesso de capacidade instalada e trabalhadores contratados, estabeleceu-se a maximização social supondo uma penalização de 5% sobre os custos totais do cenário com melhor desempenho económico. Deste modo, obteve-se uma configuração, descrita na tabela 28, composta por oito instalações, cujas dimensões privilegiam as localizações com maior taxa de desemprego, como é o caso dos concelhos de Vila Nova de Gaia e Barreiro, não descurando na manutenção de custo total reduzido.

Tabela 28: Configuração da cadeia de abastecimento do cenário L.

Armazéns implementados	Aveiro	Braga	Sintra	VNGaia	Barreiro	MARL	Vila do Conde	Algoz
Área	1088	1000	1000	1348	1796	1284	1143	1000
Lojas abastecidas	14%	11%	11%	3%	21%	16%	15%	9%
Produtos armazenados	Todos	Todos	Todos	Todos	Todos	Todos	Todos	Todos

6.1.5.3. Cenário M: Maximização do indicador com base na densidade populacional, considerando um aumento de 5% dos custos totais

Tal como no cenário L e com a mesma motivação, o cenário atual maximiza o indicador associado à densidade populacional, considerando uma penalização de 5% nos custos totais. A configuração resultante deste cenário é apresentada na tabela 29, contemplando a implementação de sete armazéns nas mesmas localizações do cenário D (cenário de menor custo total), destacando-se as superiores dimensões no MARL e Algoz, que são localizações caracterizadas por baixa densidade populacional.

Tabela 29: Configuração da cadeia de abastecimento do cenário M.

Armazéns implementados	Aveiro	Braga	Sintra	Barreiro	MARL	Vila do Conde	Algoz
Área	1225	1000	1000	1019	1936	1258	2210
Lojas abastecidas	15%	12%	10%	13%	22%	17%	11%
Produtos armazenados	Todos	Todos	Todos	Todos	Todos	Todos	Todos

6.1.5.4. Comparação dos cenários segundo as três dimensões de sustentabilidade:

Analisando os desempenhos dos cenários descritos na presente subsecção conjuntamente com o cenário com menor custo total associado (cenário D), representados na tabela 30, destaca-se o cenário

K que, como esperado, apresenta, por uma enorme margem, o pior desempenho económico e ambiental, devido à instalação de armazéns em todas as localizações possíveis e com as respetivas áreas máximas. Consequentemente, apresenta o melhor desempenho social, empregando um total de 1.822 trabalhadores, dispersos pelas diversas instalações.

Tabela 30: Desempenho nas funções objetivo dos cenários D, K, L e M.

Cenários	D	K	L	M
Custo total (10³€)	48.192	656.050	50.601	50.601
Impacto ambiental total (ptos)	30.233 (=20.075+ 10.158)	314.729 (=112.768+ 201.960)	31.431,74 (=20.399+ 11.032)	31.377 (=20.357 + 11.019)
Benefício social (taxa de desemprego)	94,627	1993,451	108,018	103,151
Benefício social (densidade populacional)	34,229	314,637	33,798	60,178
Nº de instalações implementadas	7	9	8	7
Nº Trabalhadores especializados	23	451	24	25
Nº Trabalhadores não especializados	70	1371	73	75

Considerando um cenário mais realista, surge o M com um desempenho social notável, em particular no indicador que maximiza, empregando 100 pessoas no total dos seus armazéns, sem impactar negativamente as restantes dimensões, apresentando um custo total relativamente reduzido e ainda o menor impacto ambiental entre os cenários apresentados na presente subsecção.

Destaca-se ainda a redução da eficiência económica da cadeia de abastecimento devido ao excedente de área implementada, causando o aumento de custos como os operacionais e de implementação.

6.1.6. Análise multiobjetivo

Tratando-se de uma modelação multiobjetivo, na presente subsecção apresenta-se a análise multiobjetivo realizada recorrendo à implementação do método ϵ -constraint apresentado no trabalho Mavrotas (2009). Neste trabalho, o autor propõe uma nova versão deste método, definindo o AUGMECON (método ϵ -constraint aumentado), que impede a produção de fracas soluções ótimas de Pareto e acelera todo o processo, evitando iterações redundantes. Para a presente análise foram considerados apenas os objetivos económico e ambiental, sendo que o acréscimo dos objetivos sociais traria um aumento da complexidade da modelação, visto implicar mais duas funções objetivo. Num primeiro momento, seguindo o procedimento descrito em Mavrotas (2009), estabeleceram-se as tabelas de *payoff* com e sem otimização lexicográfica apresentadas nas tabelas J.2 e J.1 do anexo J – Análise Multiobjetivo: Método AUGMECON.

Nestas condições, aplicou-se este método sobre a modelação, recorrendo ao *software* GAMS, sendo assim obtidos os pontos, descritos na tabela 31, que permitiram a construção da frente de Pareto, figura 22, considerando o desempenho da cadeia de abastecimento em termos económico e ambiental.

Com a figura 22, conclui-se que com a minimização dos custos totais se obtém logo um desempenho ambiental muito próximo do ótimo. Como observável pelos resultados, as modificações no desempenho

da cadeia são reduzidas, verificando-se uma melhoria de 0,03% no impacto ambiental com um incremento de 0,006% no custo total, uma vez que em ambos os objetivos o foco consiste na minimização do transporte, já que o transporte representa a atividade com maior impacto em ambas as dimensões. Analisando a frente de Pareto, constata-se ainda que, do ponto 6 para o 5, o incremento no custo da cadeia é consideravelmente superior aos restantes, para igual redução no impacto ambiental.

Tabela 31: Pontos da frente de Pareto.

Pontos	Custo total (€)	Impacto Ambiental (ptos)
1	48.191.592	30.241
2	48.191.623	30.239
3	48.191.815	30.237
4	48.192.109	30.235
5	48.192.555	30.234
6	48.194.541	30.232

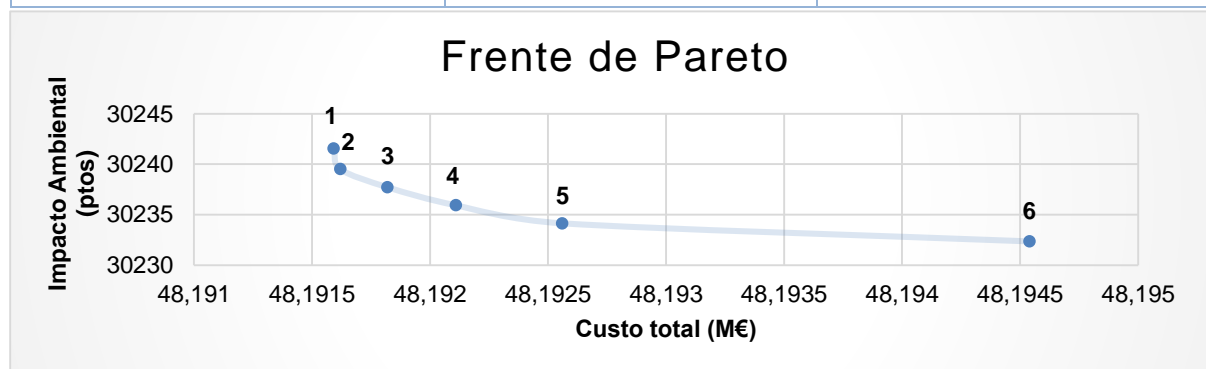


Figura 22: Frente de Pareto.

6.1.7. Comparação dos resultados e conclusões

Na presente subsecção estabelece-se a comparação entre a situação real (cenário A) e os cenários com melhor desempenho em cada uma das subsecções analisadas anteriormente, ou seja, os cenários B/F (adaptação da situação real e melhor desempenho económico considerando 3 instalações), D (melhor desempenho económico) e G (melhor desempenho ambiental considerando ReCiPe *Midpoint hierarchical*), com o intuito de apresentar uma solução para o problema em estudo. Não foram contemplados os cenários com melhor impacto social, já que estes se traduzem num considerável aumento do custo total da cadeia (5%), contemplando simultaneamente um elevado número de instalações. Destaca-se ainda que a análise da presente subsecção incide mais detalhadamente sobre o desempenho económico da cadeia de abastecimento, uma vez que esta dimensão apresenta um maior peso na tomada de decisão da JM.

Deste modo, analisou-se o desempenho económico dos diferentes cenários, como descrito na figura 23, sendo destacada, mais uma vez, a semelhança entre os vários custos nos diferentes cenários, com exceção do custo dos transportes, sendo o desempenho nesta rúbrica o elemento diferenciador, permitindo aos cenários D e G, ótimos económico e ambiental, apresentar os menores custos totais.

Contudo, como representado na figura 24, as configurações dos cenários D e G contemplam a implementação de sete armazéns para satisfazer as necessidades da cadeia de abastecimento modeladas. Como já referido, o presente modelo não contempla possíveis restrições impostas por

fornecedores, supondo que a encomenda de qualquer quantidade é entregue no armazém desejado e no período indicado. No entanto, esta realidade pode não ser alcançável, uma vez que muitos fornecedores impõem quantidades mínimas de encomenda e não estão dispostos a entregar em todas as localizações, uma vez que o custo do transporte até aos armazéns é sua responsabilidade. Assim, para contornar estas circunstâncias surge o cenário B/F, que apresenta a implementação de apenas três armazéns. Apesar de apresentar um aumento de cerca de 12% no custo total, quando comparado do D, a configuração de B/F permite uma redução de 24% no custo total da cadeia de abastecimento atual, através do devido redimensionamento e redistribuição das zonas de abastecimento.

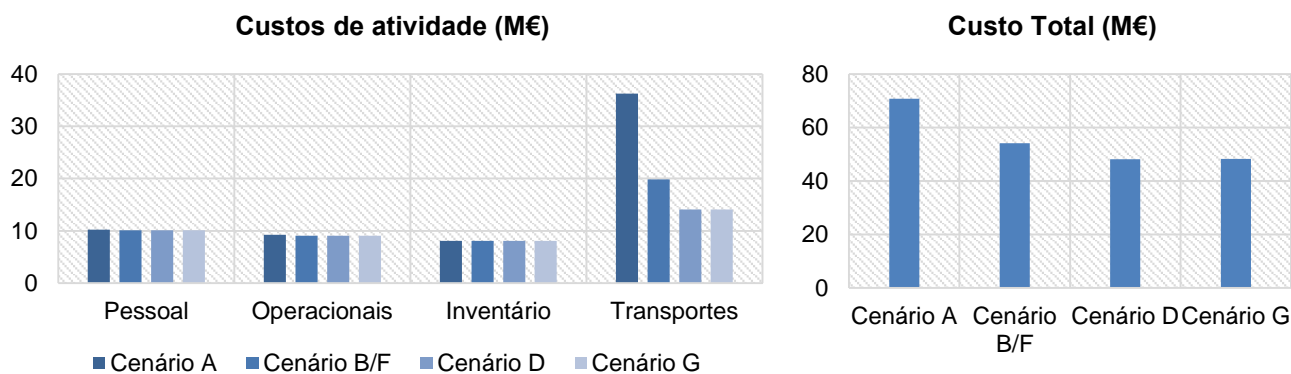


Figura 23: Desempenho económico dos cenários A, B/F, D e G.

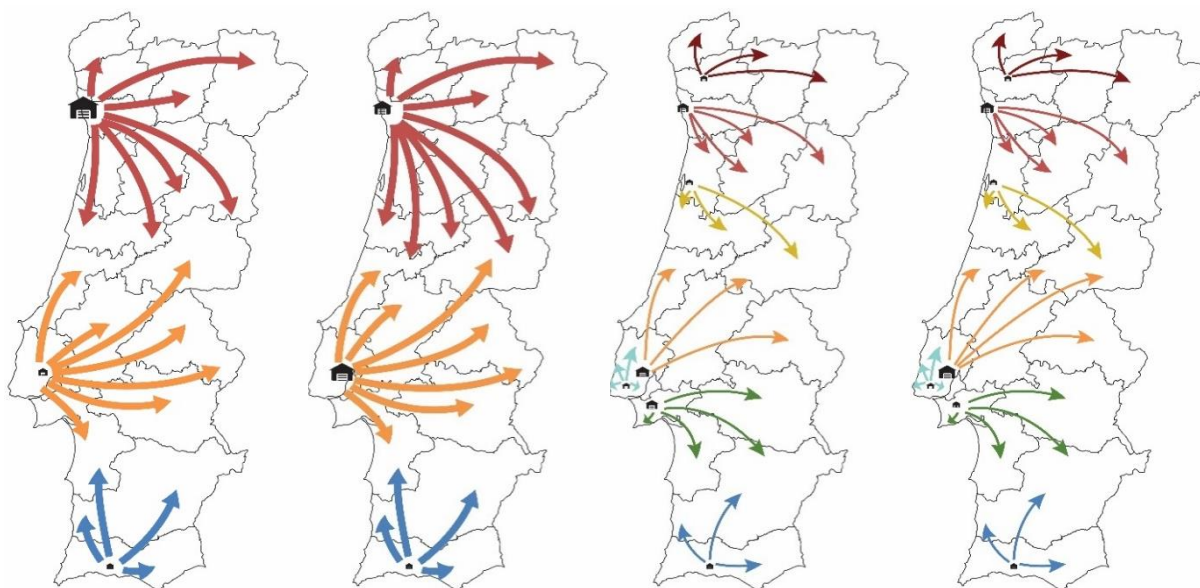


Figura 24: Configuração da cadeia de abastecimento segundo os cenários A, B/F, D e G.

Com a generalidade dos resultados obtidos, constata-se que existe um desempenho mais vantajoso com maior número de instalações implementadas, permitindo uma drástica redução no custo da atividade de transporte. Conhecendo as limitações associadas aos fornecedores, a configuração com mais armazéns pode ser vantajosa para os fornecedores na possibilidade de existência de *backhauling*. Esta atividade poderia cativar os fornecedores através da disponibilização de veículos, que regressassem vazios após o abastecimento das lojas e que se encontrassem na proximidade dos fornecedores, a preços vantajosos para executar o abastecimento dos armazéns, permitindo ainda uma rentabilização do espaço vazio que circula na cadeia de abastecimento atual.

Ainda, realça-se que o devido ajustamento das dimensões das instalações de acordo com a procura verificada na sua região de abastecimento revela-se preponderante para um melhor desempenho da cadeia de abastecimento.

6.1.8. Resultados computacionais

Os resultados descritos no presente capítulo foram obtidos recorrendo a uma *workstation* disponibilizada pelo Departamento de Engenharia e Gestão, com um CPU caracterizado por 20 cores e 2,6Ghz, e ao software GAMS 24.5.6, que integra o CPLEX 12.0. Na tabela 32 são apresentados os resultados computacionais dos melhores cenários de cada conjunto de cenários analisados.

Tabela 32: Resultados computacionais.

Cenários	Nº total de Variáveis	Nº de variáveis binárias	Nº de equações	Tempo de execução (seg. CPU) (s)	Desvio ao ótimo (%)	Valor ótimo
D	24.751.060	9	49.849	91,406	0	54.078.721€
F	24.751.060	9	49.850	141,281	0	48.191.592€
G	24.751.060	9	49.849	90,75	0	30.232 pts
L	24.751.060	9	49.850	281,219	0	108,018
M	24.751.060	9	49.850	189,875	0	60,178

6.2. Análise de sensibilidade

Na presente secção apresenta-se a análise de sensibilidade realizada aos fatores com maior incerteza considerada. No presente caso de estudo, os fatores analisados são a procura e os custos de transporte, uma vez que, devido à natureza do sortido e à volatilidade do custo dos combustíveis, respetivamente, apresentam uma maior incerteza associada.

6.2.1. Procura

A presente análise foi realizada com o objetivo de verificar o impacto da procura na configuração da cadeia de abastecimento e conseqüente desempenho, sendo modelados cenários pessimistas, contemplando o decréscimo de 5 e 10% da procura, e cenários otimistas, com um aumento de 5 e 10% da procura. Tal como previsto, como o modelo assenta na movimentação de fluxos, despoletada pela procura das lojas e no inventário mínimo (meia semana da procura média mensal), os cenários apresentam variações no desempenho em cada dimensão, variações estas que são correspondentes à modelada para a procura. Deste modo, observa-se na tabela 33 o agravamento dos impactos económico e ambiental em resposta ao aumento da procura, já que este crescimento causa o aumento das capacidades necessárias nos armazéns e amplifica a atividade de transporte. Verifica-se ainda um impacto benéfico na dimensão social com o aumento da procura, pois com a implementação de maiores dimensões, o modelo atribui aos armazéns um número de trabalhadores superior.

Tabela 33: Desempenho dos cenários com variação na procura.

Procura	-10%	-5%	0%	5%	10%
Custo total (€)	-10%	-5%	48.191.592	5%	10%
Impacto ambiental implementação	-10%	-5%	10.158	5%	10%
Impacto ambiental transporte	-10%	-5%	20.083	5%	10%
Benefício social (taxa de desemprego)	-10%	-5%	94,627	5%	10%
Benefício social (densidade populacional)	-10%	-5%	34,229	5%	10%

Contemplando a configuração da cadeia de abastecimento em cada cenário, verifica-se que o número e localizações dos armazéns a instalar mantém-se, observando-se uma variação nas áreas dos armazéns de Aveiro, Sintra, Barreiro, MARL e Vila do Conde, que é proporcional à variação da procura, como visível na figura 25. Apenas Braga e Algoz mantém a sua área, devido ao limite mínimo de área de implementação de $1000m^2$, área esta que é superior à necessária para o fluxo destas instalações para todos os cenários, o que justifica o reduzido desvio da percentagem de aumento do impacto ambiental, custos associados à implementação e aos benefícios sociais, que apresentam um valor inferior à percentagem de aumento da procura. A motivação por detrás da manutenção do número de armazéns implementados surge, mais uma vez, da importância do impacto dos transportes no desempenho económico, que torna compensador a implementação de um elevado número de armazéns para satisfazer a cadeia de abastecimento independentemente da procura modelada.

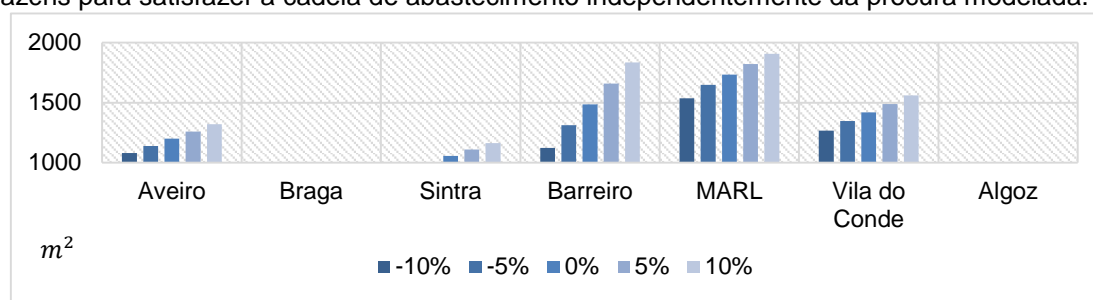


Figura 25: Variação das áreas segundo a variação da procura (m^2).

6.2.2. Custos de transporte

À semelhança da subsecção anterior, com o objetivo de avaliar o impacto dos custos de transporte, estabeleceram-se quatro cenários, considerando uma variação de -10%, -5%, 5% e 10% no parâmetro do custo de transporte unitário utilizado pelo modelo.

Contemplando os desempenhos dos cenários para cada dimensão, representados na tabela 34, realça-se o agravamento do desempenho económico com o aumento do custo dos transportes. Na dimensão ambiental, constata-se o constante impacto resultante da implementação dos armazéns, uma vez que a área total implementada se mantém inalterada entre os cenários, pois a procura mantém-se e como tal as capacidades necessárias também. Já no impacto ambiental associado ao transporte verifica-se um efeito benéfico com o aumento dos custos de transporte, justificado pelo aumento de eficiência da cadeia em termos de distâncias percorridas em resposta ao aumento destes custos. O desempenho social apresenta tendências opostas para os indicadores utilizados, sendo que o benefício social associado à taxa de desemprego diminui com o aumento dos custos de transporte e o associado à densidade populacional acompanha estes custos. Os resultados da dimensão social são motivados pela alteração das áreas dos armazéns em resposta ao aumento dos custos de transporte, variando o número de trabalhadores contratados em cada região.

Em detalhe, nos presentes cenários, verifica-se uma variação nos custos totais que segue a tendência da variação dos custos de transporte (aumentam com o acréscimo nos custos de transporte e vice-versa), mas não variam proporcionalmente, já que a variação dos custos de transporte promove o ajustamento das áreas dos diferentes armazéns implementados, tal como descrito na figura 26, com o intuito de minorar o impacto desta mesma rúbrica de custos. Assim, com o aumento dos custos de transporte, observa-se uma diminuição das áreas dos armazéns de Aveiro, Sintra e Barreiro, e um

aumento no MARL, em resposta à minimização destes custos, através da minimização das distâncias, justificando o conseqüente aumento no custo de implementação.

Tabela 34: Desempenho dos cenários com a variação dos custos de transporte.

Custos de transporte	-10%	-5%	0%	5%	10%
Custo total (€)	-3%	-1,5%	48.191.592	1,5%	3%
Impacto ambiental implementação (ptos)	0%	0%	10.158	0%	0%
Impacto ambiental transporte (ptos)	0,006%	0,001%	20083,22	-0,002%	-0,008%
Benefício social (taxa de desemprego)	0,02%	0,01%	94,627	-0,005%	-0,02%
Benefício social (densidade populacional)	-0,03%	-0,02%	34,229	0,009%	0,04%

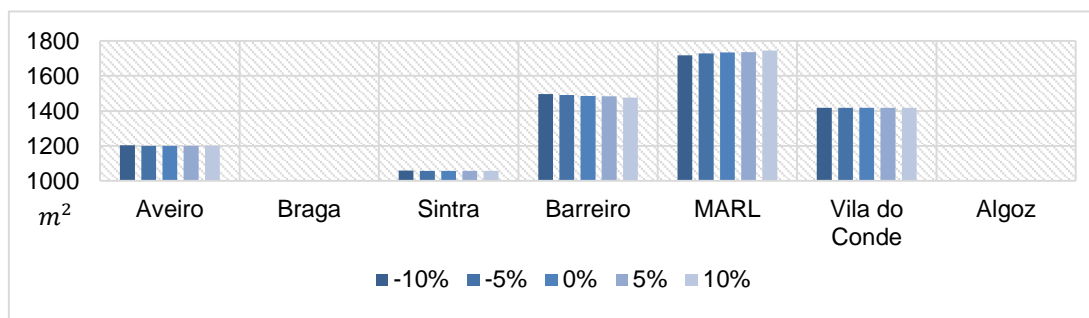


Figura 26: Variação das áreas segundo a variação dos custos de transporte (m2).

6.2.3. Conclusões da análise de sensibilidade

Com a análise realizada na presente secção verifica-se a inexistência de alterações na configuração da cadeia de abastecimento em termos do número de instalações e localizações das mesmas, sendo apenas visível variações nas áreas das mesmas, com exceção dos armazéns de Algoz e Braga, que, em resposta à limitação da área mínimas de implementação de um armazém, apresentam sempre o valor mínimo, já que a capacidade necessária não excede a implementada para nenhum cenário. Deste modo, com o crescimento da procura, existe um aumento proporcional na área implementada; com a variação dos custos de transporte a área total implementada é permanece inalterada.

Focando o desempenho económico, conclui-se que a variação de ambos os fatores, procura e custos de transporte, provoca uma variação no desempenho económico da cadeia de abastecimento na mesma direção, ou seja, um acréscimo nos fatores provoca um aumento no custo total da cadeia de abastecimento e vice-versa, sendo apenas proporcional na variação da procura.

No desempenho ambiental, realça-se aumento do impacto ambiental com o crescimento da procura, em resultado do aumento das áreas implementadas e da quantidade transportada. Com o aumento dos custos de transporte revela-se uma melhoria na eficiência dos transportes, com a redução das distâncias percorridas, culminando na diminuição do impacto ambiental da atividade de transporte com o aumento dos seus custos.

Por fim, no desempenho social, o aumento da procura, traduzido em maiores áreas implementadas, implica um crescimento do número de trabalhadores contratados, resultando em benefícios sociais superiores para ambos os indicadores. Já o aumento dos custos de transporte acarreta uma reduzida variação no desempenho social, uma vez que o número de trabalhadores contratados permanece inalterado, sendo que as pequenas variações nos indicadores surgem da realocação dos trabalhadores pelas diferentes regiões onde os armazéns se encontram implementados.

Capítulo 7 – Conclusões Finais e Trabalho Futuro

O presente trabalho tem como objetivo a otimização da cadeia de abastecimento de congelados da JM em Portugal, com foco nos níveis estratégico e tático, analisando o seu desempenho nas três dimensões da sustentabilidade. Esta otimização contempla a reestruturação física dos centros de distribuição do sortido movimentado, com o intuito de alcançar um desempenho sustentável, fazendo face às necessidades da cadeia de abastecimento no presente e no futuro, através da minimização dos impactos económicos e ambientais e da maximização do benefício social.

Na contextualização do problema, verifica-se que a cadeia de congelados da JM, em Portugal, compreende três armazéns, nos quais os produtos são armazenados e posteriormente enviados para as lojas segundo os seus pedidos. O sortido de congelados encontra-se dividido em quatro famílias e classificado segundo a velocidade de rotação em armazém. Apenas o armazém do Norte dispõe do sortido completo, sendo que nos restantes apenas se armazenam os denominados como *fast movers*.

Da revisão da literatura conclui-se que em resposta à consciencialização geral sobre a importância da sustentabilidade, o tema de cadeias de abastecimento tem vindo a integrar o conceito de TBL. Consequentemente, a modelação das mesmas tem vindo a ser desenvolvida de modo a incluir as três dimensões da sustentabilidade. Contudo, destaca-se que a maioria dos modelos contempla apenas as dimensões económica e ambiental, revelando a falta de investigação quanto à dimensão social. Realça-se ainda a dominância da modelação multiobjectivo, em particular MOMILP, e o foco no apoio a decisões estratégico-táticas, modelando o *network design* e os fluxos de materiais, tal como pretendido no presente caso de estudo.

Como base para esta dissertação, optou-se por utilizar o modelo desenvolvido por Mota et al. (2016), que apresenta um modelo MOMILP para o *design* e planeamento de uma cadeia de abastecimento sustentável, considerando as três dimensões e métricas mais gerais, permitindo uma avaliação mais global dos impactos da cadeia. Além disso, esta revela uma elevada flexibilidade, permitindo a adaptação aos mais diversos tipos de cadeia, sendo possível variar os tipos de entidades, os meios de transporte, e a integração ou não da logística inversa.

Devido à complexidade do presente caso de estudo, foram definidas estratégias de simplificação com o intuito de minorar a complexidade computacional do modelo. Neste sentido, algumas das estratégias implementadas foram a redução do sortido modelado, a seleção de possíveis localizações para a implementação de instalações e a simplificação do modelo de transportes seguido pelo grupo.

Deste modo, desenvolveu-se um modelo que permite projetar e planear a cadeia de abastecimento direta do presente caso de estudo. Este modelo pretende apoiar simultaneamente decisões estratégicas como a localização e o dimensionamento dos armazéns que satisfazem a cadeia de abastecimento, como decisões táticas relacionadas com o planeamento de fluxos de produtos, armazenamento e transporte. O modelo apresenta a avaliação do desempenho da cadeia segundo as três dimensões da sustentabilidade, sendo definidas quatro funções objetivo: minimização do custo total da cadeia de abastecimento (dimensão económica); minimização do impacto ambiental obtido

através de diferentes metodologias LCIA (dimensão ambiental); maximização do benefício social, por intermédio de duas funções objetivo, uma que pretende favorecer regiões com maior taxa de desemprego e outra que prioriza zonas com menor densidade populacional (dimensão social).

Com a aplicação do modelo de otimização ao problema em estudo tornou-se possível comparar a situação atual da cadeia de abastecimento com os vários cenários, de modo a alcançar a melhor solução para o problema em mãos. Para esta análise definiram-se quatro conjuntos de cenários: cenários requisitados pelo grupo; otimização da dimensão económica; otimização da dimensão ambiental; por fim, otimização do desempenho social. Com a modelação destes cenários foram obtidas diversas configurações para a cadeia de abastecimento de congelados, contemplando o número de armazéns, a sua localização, sortido armazenado e região de abastecimento. Assim, dos conjuntos enumerados anteriormente, destacam-se os cenários: otimização económica considerando no máximo três localizações possíveis (cenário B/F); a otimização económica sem restrições extra (cenário D), com a implementação de sete armazéns que armazenam todo o tipo de artigos; a otimização ambiental, considerando a metodologia ReCiPe *Midpoint hierarchical* (cenário G), com uma configuração semelhante à do cenário anterior; os cenários de otimização social em ambos os indicadores (cenários L e M), obtendo uma cadeia que contempla oito armazéns para a maximização do indicador com base na taxa de desemprego e com sete instalações no caso do indicador baseado na densidade populacional.

Comparando os resultados destes cenários com a situação atual, destaca-se a redução dos custos de atividade da cadeia de abastecimento devido à diminuição dos custos de transporte, resultante da aproximação dos armazéns às suas regiões de abastecimento e do dimensionamento dos armazéns segundo as necessidades das lojas que abastecem, permitindo a redução das distâncias percorridas. Este fenómeno verifica-se para todos os cenários acima mencionados, e é também responsável pela diminuição do impacto ambiental total quando comparado com a situação atual, pois reduz a distância entre as lojas e o armazém que as abastece e a necessidade de *transshipment* entre os vários armazéns. No entanto, apenas o cenário que maximiza o indicador associado à densidade populacional apresenta um desempenho social superior ao atual, contemplando custo e impacto inferiores, pois a distribuição das áreas dos sete armazéns implementados prioriza regiões de menor densidade populacional.

Dada a impossibilidade de modelação de restrições associadas aos fornecedores, não sendo contemplados mínimos de encomenda ou limitações nos locais os armazéns de entrega, e reticência do grupo em investir em muitos armazéns, impôs-se uma restrição de um máximo de 3 armazéns implementados (cenário F), à semelhança do caso real, para o qual se obtiveram um custo e impacto superiores às situações mencionadas, sendo, no entanto, consideravelmente inferiores ao caso real. Este cenário estabelece assim uma configuração contemplando 3 armazéns nas localizações atuais (de entre todas as possíveis), revelando a adequação das atuais localizações utilizadas, propondo, no entanto, um redimensionamento dos armazéns segundo a procura circundante, redistribuição das regiões de abastecimento e o armazenamento do sortido total em todos os armazéns, evitando a atividade de *transshipment*. Destaca-se ainda que, uma configuração com mais armazéns (os 7 sugeridos pelo ótimo económico) pode ser vantajosa para os fornecedores com a implementação de

um sistema de *backhauling*, permitindo cativar os fornecedores através da disponibilização de veículos, que regressassem vazios após o abastecimento das lojas e que se encontrassem na proximidade dos fornecedores, a preços vantajosos para executar o abastecimento dos armazéns, permitindo ainda uma rentabilização do espaço vazio que circula na cadeia de abastecimento atual.

Para desenvolvimento futuro sugerem-se algumas oportunidades de melhoria, resultantes das simplificações e pressupostos utilizados no presente trabalho:

Em primeiro lugar, não se considerou na presente análise de custos as restrições associadas aos fornecedores. Esta análise poderia ter interesse no sentido em que a integração das suas preferências quanto a locais de entrega, janelas horárias e mínimos de compras, permitiria alcançar uma configuração mais adequada a todas as entidades intervenientes na presente cadeia de abastecimento, sendo possível obter um melhor desempenho da cadeia completa. Ainda, com os seus custos seria possível explorar as oportunidades que poderiam advir da implementação de um sistema eficiente de *backhauling*, isto é, a que valores compensaria para ambas as entidades a existência desta atividade.

Em segundo lugar, a agregação dos artigos levou à modelação de apenas 10 artigos representativos, o que representa um valor muito pequeno perante a real dimensão do sortido de congelados. Apesar de para o presente trabalho não se revelar crítico, teria interesse analisar detalhadamente o sortido, supondo as características reais dos mesmos e não valores médios, de modo a retratar lealmente a real situação e permitir, por exemplo, a designação de *layouts* dos armazéns. Referente ainda aos artigos e a sua modelação total, seria interessante, com a definição dos seus valores de comercialização, avaliar a rentabilidade da cadeia de abastecimento no longo prazo e como a variação destes valores poderiam interferir na sua configuração.

Em terceiro lugar, a inclusão do modelo de transportes poderia revelar-se adequado uma vez que a presente cadeia de abastecimento apresenta um sistema com vários meios de transporte e com variadas dimensões, o que se reflete nos custos associados à movimentação dos artigos e, conseqüentemente, nos desempenhos económico e ambiental.

Em quarto lugar, a consideração do efeito de escala na implementação poderia ser vantajosa, uma vez que a este fator estão associados custos de materiais e equipamentos que podem ser reduzidos com o aumento da dimensão implementada, podendo impactar a configuração definida.

Em quinto lugar, a contemplação de uma parcela fixa nos custos que a empresa incorre com a implantação de instalações, independentemente da dimensão das mesmas.

Por fim, espera-se que o atual trabalho seja útil para as futuras tomadas de decisão da JM sobre a configuração da sua cadeia de abastecimento, sugerindo possíveis opções para a mesma.

Bibliografia

- Ahi, P., Searcy, C., 2013. A comparative literature analysis of definitions for green and sustainable supply chain management. *Journal of Cleaner Production* 52, pp. 329-341.
- Ahi, P., Searcy, C., 2014. An analysis of metrics used to measure performance in green and sustainable supply chains. *Journal of Cleaner Production* 86, pp. 360-377.
- Amin, S.H., Zhang, G., 2012. A multi-objective facility location model for closed-loop supply chain network under uncertain demand and return. *Applied Mathematical Modelling* 37, pp. 4165–4176.
- Amin, S.H., Zhang, G., 2012 (b). An integrated model for closed-loop supply chain configuration and supplier selection: Multi-objective approach. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 40, pp. 631 – 635.
- APED (2009). A evolução da concentração da indústria e da distribuição em Relatório Final.
- Bansal, T., 2010. Network for Business Sustainability, http://nbs.net/wp-content/uploads/Primer_Business_Sustainability.pdf, acessado a 8/03/2016.
- Beamon, B.M., 1998. Supply chain design and analysis: Models and methods. *Int. J. Production Economics* 55, pp. 281-294.
- Beske, P., Land, A., Seuring, S., 2013. Sustainable supply chain management practices and dynamic capabilities in the food industry: A critical analysis of the literature. *Int. J. Production Economics* 152, pp. 131-143.
- Bhinge, R., Moser, R., Moser, E., Lanza, G., Dornfeld, D., 2015. Sustainability optimization for global supply chain decision-making. *Procedia CIRP* 26, pp. 323 – 328.
- Banco Big Research (2013). Sector do retalho.
- Boukherroub, T., Ruiz, A., Guinet, A., Fondrevelle, J., 2015. An integrated approach for sustainable supply chain planning. *Computers & Operations Research* 54, pp. 180–194.
- Brandenburg, M., Govindan, K., Sarkis, J., Seuring, S., 2013. Quantitative models for sustainable supply chain management: Developments and directions. *European Journal of Operational Research* 233, pp. 299–312.
- Brundtland, G. H., 1987. Report of the World Commission on environment and development: "our common future". United Nations.
- Büyükköçkan, G., Berkol, C., 2011. Designing a sustainable supply chain using an integrated analytic network process and goal programming approach in quality function deployment. *Expert Systems with Applications* 38, pp. 13731–13748.
- Chaabane, A., Ramudhin, A., Paquet, M., 2010. Design of sustainable supply chains under the emission trading scheme. *Int. J. Production Economics* 135, pp. 37–49.
- Chardine-Baumann, E., Botta-Genoulaz, V., 2014. A framework for sustainable performance assessment of supply chain management practices. *Computers & Industrial Engineering* 76, pp. 138–147.
- Chibeles-Martins, N., Pinto-Varela, T., Barbosa-Póvoa, A.P., Novais, A.Q., 2016. A multi-objective meta-heuristic approach for the design and planning of green supply chains – MBSA. *Expert Systems With Applications* 47, pp. 71–84.
- Cooper, M.C., Lambert, D.M., Pagh, J.D., 1997. Supply chain management: more than a new name for logistics. *International Journal of Logistics Management* 8, pp. 1-13.
- Dekker, R., Bloemhof, J., Mallidis, I., 2012. Operations Research for green logistics – An overview of aspects, issues, contributions and challenges. *European Journal of Operational Research* 219, pp. 671–679.
- Deloitte (2016). Global Powers of Retailing 2016 Navigating the new digital divide.
- Devika, K., Jafarian, A., Nourbakhsh, V., 2013. Designing a sustainable closed-loop supply chain network based on triple bottom line approach: A comparison of metaheuristics hybridization techniques. *European Journal of Operational Research* 235, pp. 594–615.
- Elkington, J., 1997. *Cannibals With Forks The Triple Bottom Line of 21st Century Business*. London: Capstone Publishing Limited.
- European Commission, 2010. ILCD handbook – Analysis of existing Environmental Impact Assessment methodologies for use in Life Cycle Assessment.
- European Commission, 2012. Product Environmental Footprint (PEF) Guide.
- Eskandarpour, M., Dejax, P., Miemczyk, J., Péton, O., 2015. Sustainable supply chain network design: An optimization-oriented review. *Omega* 54, pp. 11-32.

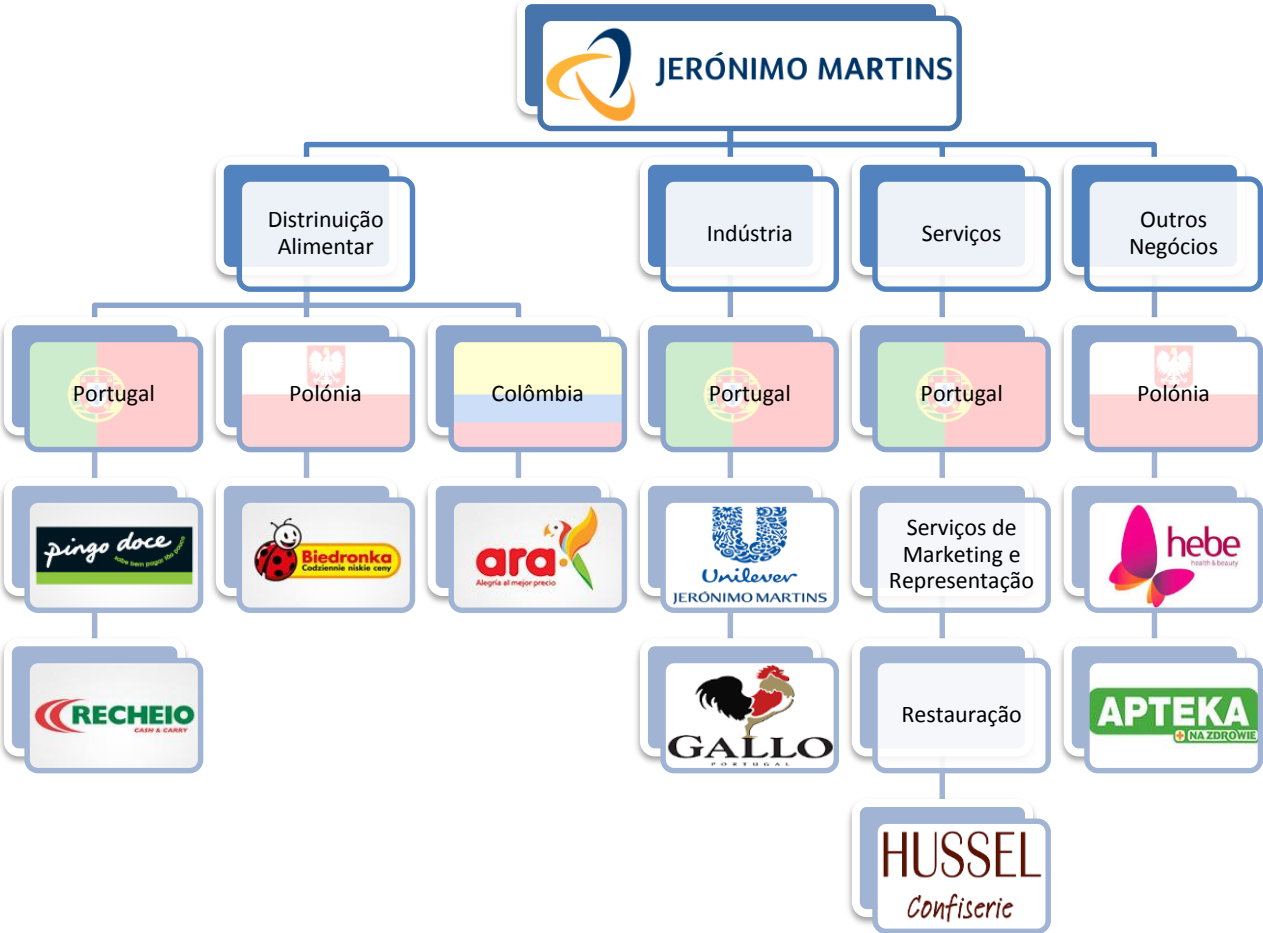
- Fleischmann, M., Bloemhof-Ruwaard, J.M., Dekker, R., Van der Laan, E., Van Nunen, J.A., Van Wassenhove, L.N., 1997. Quantitative models for reverse logistics: a review. *European Journal Operational Research* 103, pp. 1-17.
- Foran, B., Lenzen, M., Dey, C., Bilek, M., 2005. Integrating sustainable chain management with triple bottom line accounting. *Ecological Economics* 52, pp. 143-157.
- Frostenson, M., Prenkert, F., 2014. Sustainable supply chain management when focal firms are complex: a network perspective. *Journal of Cleaner Production* 107, pp. 85-94.
- Ganeshan & Harrison, 1995. An Introduction to Supply Chain Management. https://mason.wm.edu/faculty/ganeshan_r/documents/intro_supply_chain.pdf, aceso a 04/04/2016.
- Garg, K., Kannan, D., Diabat, A., Jha, P.C., 2015. A multi-criteria optimization approach to manage issues in closed loop supply chain network design. *Journal of Cleaner Production* 100, pp. 297-314.
- Germani, M., Mandolini, M., Marconi, M., Marilungo, E., Papetti, A., 2015. A system to increase the sustainability and traceability of supply chains. *Procedia CIRP* 29, pp. 227-232.
- Gimenez, C., Sierra, V., Rodon, J., 2012. Sustainable operations: Their impact on the triple bottom line. *Int. J. Production Economics* 140, pp. 149-159.
- Govindan, K., 2015. Sustainable supply chain management: Advances in operations research perspective. *Computers & Operations Research* 54, pp. 177-179.
- Govindan, K., Soleimani, H., Kannan, D., 2015. Reversed logistics and closed-loop supply-chain: A comprehensive review to explore the future. *European Journal of Operational Research* 240, pp. 603-626.
- Guide Jr., V.D.R., Van Wassenhove, L.N., 2009. OR FORUM-the evolution of closedloop supply chain research. *Operational Research* 57, pp. 10-18.
- Gunasekaran, A., Gallea, D., 2012. Special Issue on Sustainable development of manufacturing and services. *Int. J. Production Economics* 140, pp. 1-6.
- Gupta, S., Palsule-Desai, O.D., 2011. Sustainable supply chain management: Review and research opportunities. *IIMB Management Review* 23, pp. 234-245.
- Handfield RB, Nichols EL., 1999. Introduction to supply chain management. New Jersey: Prentice-Hall.
- Hassini, E., Surti, C., Searcy, C., 2012. A literature review and a case study of sustainable supply chains with a focus on metrics. *Int. J. Production Economics* 140, pp. 69-82.
- Hofstetter, P., 1998. Perspectives in life cycle impact assessment: A structured approach to combine models of the Technosphere, Ecosphere and Valuesphere. Swiss federal Institute of technology Zurich.
- Hsueh, C.F., 2014. A bilevel programming model for corporate social responsibility collaboration in sustainable supply chain management. *Transportation Research Part E* 73, pp. 84-95.
- Hussain, M., Awasthi, A., Tiwari, M.K., 2014. Interpretive structural modeling analytic network process integrated framework for evaluating sustainable supply chain management alternatives. *Applied Mathematical Modelling* 000, pp. 1-17.
- INE (2015). Estatísticas do Comércio 2014.
- Jerónimo Martins (2015). Dados internos do Grupo Jerónimo Martins.
- Jerónimo Martins (2015a). Jerónimo Martins website, <http://www.jeronimomartins.pt/>, aceso em 11/12/2015.
- Jerónimo Martins (2015b). Relatório de Contas Jerónimo Martins 2014.
- Jerónimo Martins (2015c). O Mundo Jerónimo Martins em 2014.
- Jerónimo Martins (2015d). Código de Conduta do Grupo Jerónimo Martins.
- Kang, S.H., Kang, B., Shin, K., Kim, D., Han, J., 2012. A theoretical framework for strategy development to introduce sustainable supply chain management. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 40, pp. 631-635.
- Kannegiesser, M., Günther, H.O., Autenrie N., 2015. The time-to-sustainability optimization strategy for sustainable supply network design. *Journal of Cleaner Production* 108, pp. 451-463.
- Kleindorfer, P. R., Singhal, K., and Van Wassenhove, L. N., 2005. Sustainable Operations Management. *Production and Operations Management* 14, pp. 482-492.
- Kumar, D., Rahman, Z., 2015. Sustainability adoption through buyer supplier relationship across supply chain: A literature review and conceptual framework. *International Strategic Management Review* 3, pp. 110-127.
- Lee, K.H., Wu, Y., 2014. Integrating sustainability performance measurement into logistics and supply networks: A multi-methodological approach. *The British Accounting Review* 46, pp. 361-378.

- Li, D., Wang, X., Chan, H.K., Manzin, R., 2014. Sustainable food supply chain management. *Int. J. Production Economics* 152, pp. 1-8.
- Linton, J.D., Klassen, R., Jayaraman, V., 2007. Sustainable supply chains: An introduction. *Journal of Operations Management* 25, pp. 1075-1082.
- Masoumik, S.M., Abdul-Rashid, S.H., Olugu, E.U., Ghazilla, R.A.R., 2015. A Strategic Approach to Develop Green Supply Chains. *Procedia CIRP* 26, pp. 670-676.
- Mavrotas, G., 2009. Effective implementation of the e-constraint method in Multi-Objective Mathematical Programming problems. *Applied Mathematics and Computation* 213, pp. 455-465.
- Memari, A., Rahim, A.R.A., Ahmad, R.B., 2015. An Integrated Production-Distribution Planning in Green Supply Chain: A multi-objective evolutionary approach. *Procedia CIRP* 26, pp. 700-705.
- Min, H., Zhou, G., 2002. Supply Chain modeling: past, present and future. *Computers & Industrial Engineering* 43, pp. 231-249.
- Moghaddam, K.S., 2015. Fuzzy multi-objective model for supplier selection and order allocation in reverse logistics systems under supply and demand uncertainty. *Expert Systems with Applications* 42, pp. 6237-6254.
- Mota, B., Gomes, M.I., Carvalho, A., Barbosa-Povoa, A.P., 2015. Towards supply chain sustainability: economic, environmental and social design and planning. *Journal of Cleaner Production* 105, pp. 14-27.
- Mota, B., Gomes, M.I., Carvalho, A., Barbosa-Povoa, A.P., 2015 (b). Design and Planning of Sustainable Supply Chains. *Computer-Aided Chemical Engineering* 36, pp. 333-349.
- Mota, B., Gomes, M.I., Carvalho, A., Barbosa-Povoa, A.P., 2016. Integrated framework for sustainable supply chain design and planning. *Omega* (em submissão).
- Ntabe, E.N., LeBel, L., Munson, A.D., Santa-Eulalia, L.A., 2015. A systematic literature review of the supply chain operations reference (SCOR) mode lapplication with special attention to environmental issues. *Int. J. Production Economics* 169, pp. 310-332.
- Özkır, V., Bas, İlgil, H., 2012. Multi-objective optimization of closed-loop supply chains in uncertain environment. *Journal of Cleaner Production* 41, pp. 114-125.
- Pishvaei, M.S., Jolai, F., Razmi, J., 2010. A stochastic optimization model for integrated forward/reverse logistics network design. *Journal of Manufacturing Systems* 28, pp. 107-114.
- Pishvaei, M.S., Torabi, S.A., 2010. A possibilistic programming approach for closed-loop supply chain network design under uncertainty. *Fuzzy Sets and Systems* 161, pp. 2668-2683.
- Pishvaei, M.S., Rabbani, M., Torabi, S.A., 2010 (b). A robust optimization approach to closed-loop supply chain network. *Applied Mathematical Modelling* 35, pp. 637-649.
- PORDATA, 2016. Website do portal PORDATA. <http://www.pordata.pt/>, acedido em 03/08/2016.
- Rebitzer, G., Ekvall, T., Frischknecht, R., Hunkeler, D., Norris, G., Rydberg, T., Schmidt, W.P., Suh, S., Wiedema, B.P., Pennington, D.W., 2004. Life cycle assessment Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. *Environment International* 30, pp. 701-720.
- Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbregts, M., Schryver, A.D., Struijs, J., Zelm, R., 2012. ReCiPe, 2008.
- Seuring, S., 2012. A review of modeling approaches for sustainable supply chain management. *Decision Support Systems* 54, pp.1513-1520.
- Seuring, S., Martin, M., 2008. From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. *Journal of Cleaner Production* 16, pp.1699-1710.
- Seuring, S., Sarkis, J., Müller, M., Rao, P., 2008. Sustainability and supply chain management – An introduction to the special issue. *Journal of Cleaner Production* 16, pp.1545-1551.
- SimaPro, 2016. SimaPro Database Manual – Methods.
- Soysal, M., Bloemhof-Ruwaard, J.M., vander Vorst, J.G.A.J., 2013. Modelling food logistics networks with emission considerations: The case of an international beef supply chain. *Int. J. Production Economics* 152, pp.57-70.
- Srivastava, S.K., 2007. Green supply-chain management: a state-of-the-art literature review, *International Journal of Management Reviews* 9, pp. 53-80
- Steurer, R., Langer, M.E., Konrad, A., Martinuzzi, A., 2005. Corporations, stakeholders and sustainable development I: a theoretical exploration of business-society relations. *Journal of Business Ethics* 61, pp.263-281.
- Su, C.M., Horng, D.J., Tseng, M.L., Chiu, A.S.F., Wu, K.J., Chen, H.P., 2015. Improving sustainable supply chain management using a novel hierarchical grey-DEMATEL approach. *Journal of Cleaner Production*, pp. 1-13.

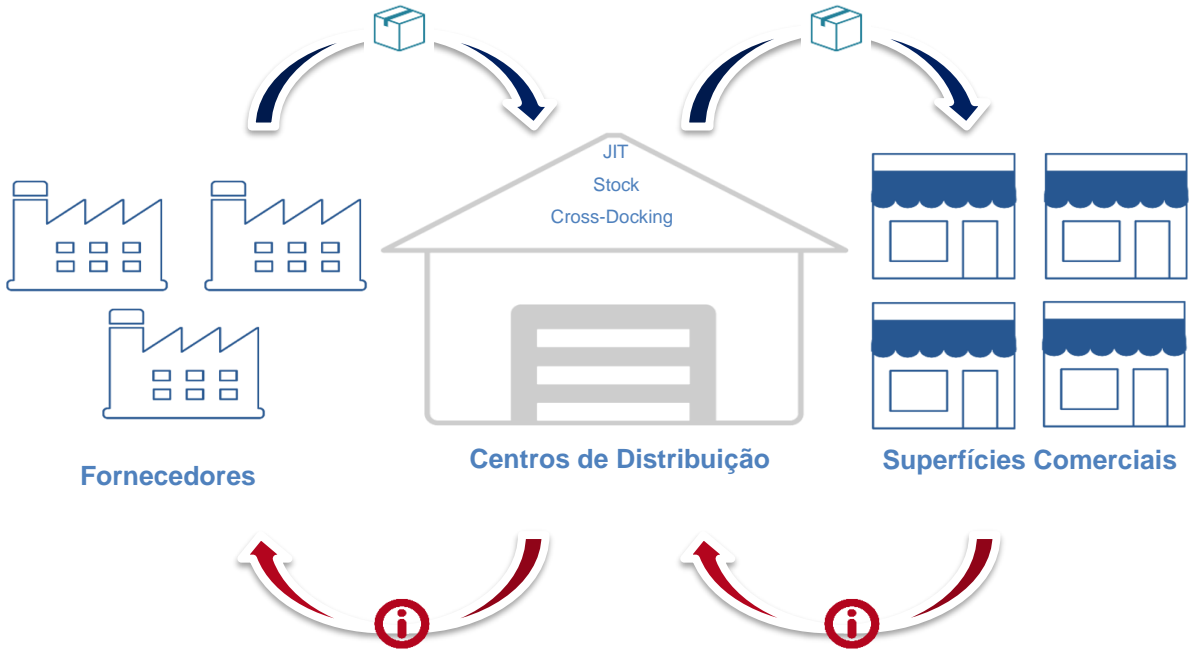
- Talaei, M., Moghaddam, B.F., Pishvae, M.S., Bozorgi-Amiri, A., Gholamnejad, S., 2015. A robust fuzzy optimization model for carbon-efficient closed-loop supply chain network design *problem*: a numerical illustration in electronics industry. *Journal of Cleaner Production*, pp. 1-12.
- Tang, C.S., Zhou, S., 2012. Research advances in environmentally and socially sustainable operations. *European Journal of Operational Research* 223, pp.585–594.
- Tascioglu, M., 2015. Sustainable supply chain management: A literature review and research agenda. *Journal of Management, Marketing and Logistics*, pp. 2148-6670.
- Tidy, M., Wang, X., Hall, M., 2015. The role of Supplier Relationship Management in reducing Greenhouse Gas emissions from food supply chains: supplier engagement in the UK supermarket sector. *Journal of Cleaner Production* 112, pp.3294-3305.
- Turi, A., Goncalves, G., Mocan, M., 2014. Challenges and competitiveness indicators for the sustainable development of the supply chain in food industry. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 124, pp. 133-141.
- Vachon, S., Maoc, Z., 2008. Linking supply chain strength to sustainable development: a country-level analysis. *Journal of Cleaner Production* 16, pp. 1552-1560.
- Validi, S., Bhattacharya, A., Byrne, P.J., 2014. A solution method for a two-layer sustainable supply chain distribution model. *Computers & Operations Research* 54, pp. 204-217.
- Validi, S., Bhattacharya, A., Byrne, P.J., 2014 (b). A case analysis of a sustainable food supply chain distribution system—A multi-objective approach. *Int. J. Production Economics* 152, pp. 71-87.
- Van Marrewijk, M., 2003. Concepts and definitions of CSR and corporate sustainability: between agency and communion. *Journal of Business Ethics* 44 (2), pp. 95-105
- Zanoni S., Zavanella L., 2011. Chilled or frozen? Decision strategies for sustainable food supply chains. *Int. J. Production Economics* 140, pp. 731–736.
- Zhang, Q., Shah, N., Wassick, J., Helling, R., van Egerschot, P., 2014. Sustainable supply chain optimisation: An industrial case study. *Computers & Industrial Engineering* 74, pp. 68–83.
- Zhu, Q., and Sarkis, J., 2004. Relationships between operational practices and performance among early adopters of green supply chain management practices in Chinese manufacturing enterprises. *Journal of Operations Management* 22, pp. 265-289.

Anexos

Anexo A: As empresas que integram o grupo JM (Jerónimo Martins, 2015a).



Anexo B: Cadeia de Abastecimento da JM em Portugal.



Anexo C: Armazéns por centro de distribuição da Jerónimo Martins.

Tabela C.1: Armazéns por centro de distribuição da Jerónimo Martins (Jerónimo Martins, 2015).

Centro de Distribuição	Área	Armazéns
Guardeiras (Porto)	13.000 m ²	5501 – Ambiente <i>stock</i>
Laúndos (Porto)	12.000 m ²	5507 – Ambiente JIT
Vila do Conde (Porto)	21.000 m ²	5503 – Frutas e Vegetais 5504 – Frescos e Talho 5505 – Ambiente <i>stock</i> 5508 – Congelados 5509 – Peixe
Azambuja (Lisboa)	51.000 m ²	5401 – Ambiente <i>stock</i> 5403 – Frutas e Vegetais 5404 – Frescos e Talho 5409 – Peixe
Alcochete (Lisboa)	12.000 m ²	5405 – Ambiente <i>stock</i>
Vila Nova da Rainha (Lisboa)	27.000 m ²	5407 – Ambiente JIT, Logística Inversa e Ambiente <i>stock</i> de Unidades
MARL (Lisboa)	1.600 m ²	5408 – Congelados (Outsourcing: Frigoservice)
Algoz (Algarve)	21.000 m ²	5701 – Ambiente <i>stock</i> 5703 – Frutas e Vegetais 5704 – Frescos e Talho 5708 – Congelados 5709 – Peixe

Anexo D: Nacionalidade dos Fornecedores da Cadeia de congelados da JM Portugal.

Tabela D.1: Nacionalidade dos Fornecedores da Cadeia de congelados da JM Portugal (Jerónimo Martins, 2015).

Países	Nº de Fornecedores	Percentagem (%)
Alemanha	2	1,16%
Bélgica	5	2,91%
Brasil	1	0,58%
Dinamarca	1	0,58%
Espanha	27*	15,70%
França	7*	4,07%
Grã-Bretanha	2	1,16%
Holanda	9	5,23%
Irlanda	2	1,16%
Índia	2*	1,16%
Itália	2	1,16%
Noruega	1	0,58%
Polónia	1	0,58%
Portugal	110*	63,95%
Total	172	100,00%

* Alguns dos fornecedores contemplados podem não ter realizado entregas no período de estudo, mas poderão fazê-lo posteriormente.

Anexo E: Número de artigos segundo as palavras-chave usadas nos diferentes motores de busca.

Tabela E.1: Número de artigos segundo as palavras-chave usadas nos diferentes motores de busca.

Palavras-chave			Google Scholar	Wiley Online Library	Emerald Insight	Elsevier ScienceDirect	
"Supply Chain" +	-		3.560.000	24.045	33.547	411.132	
	"Sustainable" +	-	1.180.000	19.312	13.258	36.143	
		"Management" +	-	952.000	14.421	12.789	25.807
			"Review"	791.000	12.848	9.209	17.963
			"Framework"	166.000	10.120	8.413	15.795
		"Optimization"	101.000	3.249	2.116	6.674	
	"Optimization models"		104.000	2.942	1.947	8.883	
	"Closed-loop" +	-	221.000	2.943	1.902	40.574	
		"Optimization models"	48.400	782	216	9.113	
	"Green" +	-	2.070.000	84.995	4.765	97.189	
		"Optimization models"	96.500	4.040	689	12.841	

Anexo F: Categoria "Modelação" segundo o nível de gestão das cadeias de abastecimento.

Tabela F.1: Categoria "Modelação" segundo o nível de gestão das cadeias de abastecimento.

Artigo	Estratégico	Tático	Operacional
Chaabane et al., 2010	x	x	
Pishvaei, e Torabi, 2010	x	x	
Pishvaei et al., 2010	x	x	
Pishvaei et al., 2010 (b)	x	x	
Amin e Zhang, 2012	x		
Amin e Zhang, 2012 (b)	x	x	
Özkır e Baslıgil, 2012	x	x	
Devika et al., 2013	x	x	
Soysal et al., 2013		x	x
Hsueh, 2014		x	x
Validi et al., 2014		x	
Validi et al., 2014 (b)		x	x
Zhang et al., 2014	x	x	
Bhinge et al., 2015	x	x	
Boukherroub et al., 2015		x	
Garg et al., 2015	x	x	
Memari et al., 2015	x	x	
Moghaddam, 2015		x	
Mota et al., 2015	x	x	
Mota et al., 2015 (b)	x	x	
Talaei et al., 2015	x		
Chibeles-Martins et al., 2016	x	x	
Mota et al., 2016	x	x	

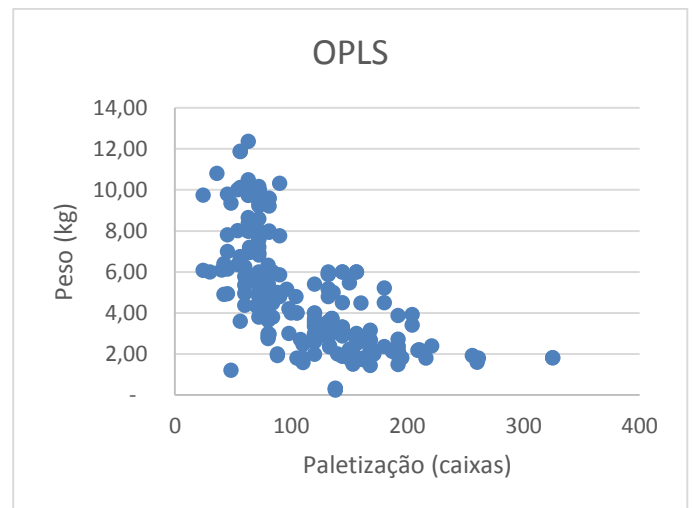
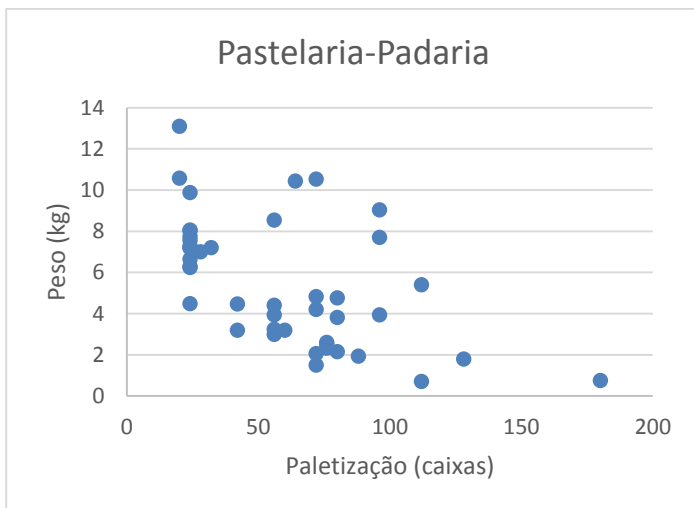
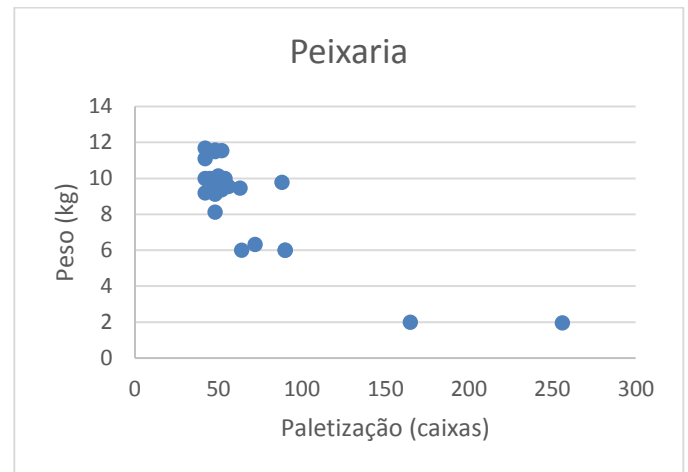
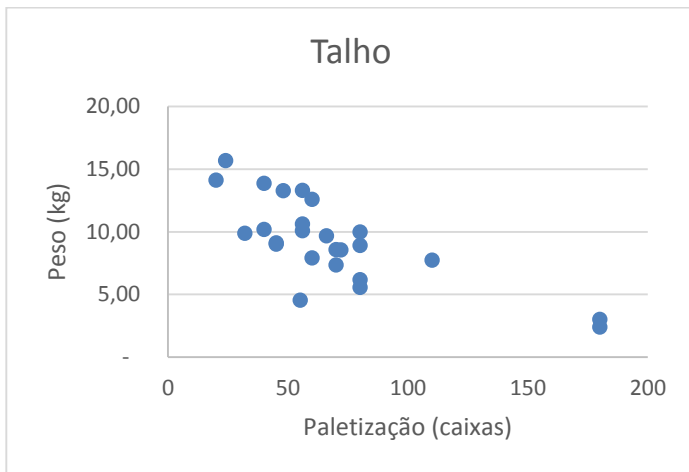
Anexo G: Descrição dos modelos presentes na revisão bibliográfica.

Tabela G.1: Descrição dos modelos presentes na revisão bibliográfica.

Tabela G.1: Artigo	Dimensões	Modelação	Métodos de solução	Foco	Multi- produto	Caso de estudo
Chaabane et al., 2010	Econ-Amb	MOMILP	LINGO	<i>Network Design</i> Planeamento do fluxo de materiais	-	Indústria do alumínio
Pishvae e Torabi, 2010	Econ	BOPMILP	LINGO	<i>Network Design</i> Planeamento do fluxo de materiais	-	-
Pishvae et al., 2010	Econ	MILP; SMILP	LINGO	<i>Network Design</i>	-	-
Pishvae et al., 2010 (b)	Econ	MILP; Robust fuzzy programming	ILOG CPLEX	<i>Network Design</i> Planeamento do fluxo de materiais	-	-
Amin e Zhang, 2012	Econ-Amb	MOMILP	ILOG CPLEX	<i>Network Design</i> Planeamento do fluxo de materiais	x	-
Amin e Zhang, 2012 (b)	Econ	Fuzzy MOO; MOMILP	GAMS/CPLEX solver	<i>Network Design</i> Planeamento do fluxo de materiais	x	-
Özkır e Basligil, 2012	Econ-Soc	Fuzzy MOO	GAMS/Baron solver	<i>Network Design</i> Planeamento do fluxo de materiais	-	-
Devika et al., 2013	Econ-Amb-Soc	MOMILP	Hybrid AICA and VNS; Two-phase ICA and VNS; Nested ICA and VNS	<i>Network Design</i>	-	Indústria do vidro
Soysal et al., 2013	Econ-Amb	MOLP	ILOG CPLEX	Planeamento do fluxo de materiais	-	Logística de carnes
Hsueh, 2014	Econ-Soc	Bilevel Programming + VI (modelo de equilíbrio)	VI sensitivity analysis	Planeamento do fluxo de materiais Desempenho ao nível da CSR	-	-
Validi et al., 2014	Econ-Amb	MOMILP	MOGA-II; NSGA-II; GA+SQP	Transportes	-	Indústria de lacticínios
Validi et al., 2014 (b)	Econ-Amb	-	DoE-Guided MOGA-II;	Transportes	-	Indústria de lacticínios

Zhang et al., 2014	Econ-Amb-Soc	MOLP	ILOG CPLEX	Planeamento do fluxo de materiais	x	Indústria Química
Bhinge et al., 2015	Econ-Amb-Soc	MOO	ILOG CPLEX	Planeamento do fluxo de materiais	-	Produção
Boukherroub et al., 2015	Econ-Amb-Soc	MOMILP	ILOG CPLEX	Planeamento do fluxo de materiais	x	Indústria da madeira
Garg et al., 2015	Econ-Amb	BONLP	LINGO	Planeamento do fluxo de materiais Transportes	-	Produção de geysers
Memari et al., 2015	Econ-Amb	MOMILP	MOGA	Planeamento do fluxo de materiais	x	-
Moghaddam, 2015	Econ	MOMILP; Fuzzy MOO	LINGO	Planeamento do fluxo de materiais	x	-
Mota et al., 2015	Econ-Amb-Soc	MOMILP	GAMS/CPLEX solver	<i>Network Design</i> Planeamento do fluxo de materiais	-	Indústria de baterias
Mota et al., 2015 (b)	Econ-Amb-Soc	MOMILP	Exacto	<i>Network Design</i> Planeamento do fluxo de materiais	x	Retalho alimentar
Talaei et al., 2015	Econ-Amb	MOMILP; Robust fuzzy programming	Exacto	<i>Network Design</i>	x	Indústria eletrónica
Chibeles-Martins et al., 2016	Econ-Amb	MOMILP	SA-based MO Metaheuristics algorithm- MBSA	<i>Network Design</i> Planeamento do fluxo de materiais	-	-
Mota et al., 2016	Econ-Amb-Soc	MOMILP	GAMS/CPLEX solver	<i>Network Design</i> Planeamento do fluxo de materiais	x	-

Anexo H: Dispersão das características dos artigos por categoria.



Anexo I: Descrição dos indicadores ambientais para as diferentes metodologias.

Tabela I.1: Fatores de caracterização e de normalização por categoria de impacto para as diferentes perspetivas culturais utilizadas na metodologia ReCiPe Midpoint.

Categoria de impacto	Unidade	Fator de normalização	Implementação			Transportes		
			Hierarchical	Egalitarian	Individualist	Hierarchical	Egalitarian	Individualist
Climate change	kg CO2 eq	1.81E-04	396,2048	377,9147	441,8128	0,000161	0,000156	0,000169
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	2.66E+01	2,23E-05	2,23E-05	2,23E-05	1,22E-11	1,22E-11	1,22E-11
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	2.37E-02	3,52551	4,015122	3,1355	3,76E-07	4,66E-07	3,32E-07
Freshwater eutrophication	kg P eq	3.45E+00	0,025407	0,025407	0,025407	3,53E-09	3,53E-09	3,53E-09
Marine eutrophication	kg N eq	1.36E-01	0,119105	0,119105	0,119105	2,52E-08	2,52E-08	2,52E-08
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	6.89E-04	73,73333	832,3646	7,303886	6,77E-06	0,000141	1,04E-06
Photochemical oxidant formation	kg NMVOC	1.76E-02	2,176028	2,176021	2,176021	8,46E-07	8,46E-07	8,46E-07
Particulate matter formation	kg PM10 eq	7.11E-02	1,383358	1,383358	1,383358	2,41E-07	2,41E-07	2,41E-07
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	1.23E-01	0,046756	0,466255	0,046739	1,67E-08	2,03E-07	1,68E-08
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	2.20E-01	1,186031	1,208973	1,186692	3,32E-08	5,1E-08	3,32E-08
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	1.48E-03	-0,29675	-18,3491	0,018865	2,4E-07	0,000107	1,17E-07
Ionising radiation	kBq U235 eq	7.59E-04	7,961083	7,961069	0,75719	1,12E-05	1,12E-05	9,99E-07
Agricultural land occupation	m2a	1.84E-04	222,4457	222,4457	222,4457	3,53E-05	3,53E-05	3,53E-05
Urban land occupation	m2a	1.29E-03	3,384835	3,384835	3,384835	1,21E-05	1,21E-05	1,21E-05
Natural land transformation	m2	8.31E-02	0,03204	0,03204	0,03204	5,02E-08	5,02E-08	5,02E-08
Water depletion	m3	0.00E+00	1009,606	1009,606	1009,606	0,000134	0,000134	0,000134
Metal depletion	kg Fe eq	2.25E-03	131,2351	131,2608	131,2608	1,57E-05	1,57E-05	1,57E-05
Fossil depletion	kg oil eq	7.75E-04	102,0356	101,9616	101,9616	6,17E-05	6,17E-05	6,17E-05

Tabela I.2: Fatores de caracterização e de normalização por categoria de impacto ambiental segundo a metodologia PEF.

Categoria de impacto		Unidade	Fator de normalização	Implementação de armazém	Transporte
1.	Climate change	kg CO2 eq	1.08E-04	396,198	0,000161
2.	Ozone depletion	kg CFC-11 eq	4.63E+01	1,83E-05	1,22E-11
3.	Human toxicity, cancer effects	CTUh	2.71E+04	1,29E-05	1,31E-12
4.	Human toxicity, non-cancer effects	CTUh	1.88E+03	0,000222	1,32E-11
5.	Particulate matter	kg PM2.5 eq	2.63E-01	0,405894	4,95E-08
6.	Ionizing radiation HH	kg U235 eq	8.85E-04	7,94549	1,12E-05
7.	Ionizing radiation E (interim)	CTUe	0.00E+00	5,61E-05	7,94E-11
8.	Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	3.15E-02	2,105303	8,34E-07
9.	Acidification	molc H+ eq	2.11E-02	4,507203	4,95E-07
10.	Terrestrial eutrophication	molc N eq	5.68E-03	14,54178	2,58E-06
11.	Freshwater eutrophication	kg P eq	6.76E-01	0,025421	3,54E-09
12.	Marine eutrophication	kg N eq	5.92E-02	0,608596	2,29E-07
13.	Freshwater ecotoxicity	CTUe	1.14E-04	627,2065	8,35E-05
14.	Land use	kg C deficit	1.34E-05	848,3155	0,000481
15.	Water resource depletion	m3 water eq	1.23E-02	155,9465	1,7E-05
16.	Mineral, fossil & ren resource depletion	kg Sb eq	9.90E+00	1,605568	8,66E-09

Tabela I.3: Resultados não normalizados por categoria de impacto para os cenários com as diferentes perspectivas culturais da metodologia ReCiPe Midpoint.

		Implementação			Transportes		
		Cenário I	Cenário J	Cenário K	Cenário I	Cenário J	Cenário K
Categoria de impacto	Unidade	Hierarchical	Egalitarian	Individualist	Hierarchical	Egalitarian	Individualist
1. Climate change	kg CO2 eq	3524352,84	3361657,66	3930048,73	14795443,07	14333455,22	15537601,96
2. Ozone depletion	kg CFC-11 eq	0,20	0,20	0,20	1,12	1,12	1,12
3. Terrestrial acidification	kg SO2 eq	31360,40	35715,64	27891,15	34494,03	42806,45	30486,86
4. Freshwater eutrophication	kg P eq	226,00	226,00	226,00	324,35	324,35	324,35
5. Marine eutrophication	kg N eq	1059,47	1059,47	1059,47	2318,80	2318,80	2318,80
6. Human toxicity	kg 1,4-DB eq	655878,74	7404116,97	64970,12	621902,42	12966562,02	95195,66
7. Photochemical oxidant formation	kg NMVOC	19356,38	19356,38	19356,38	77682,16	77682,16	77682,16
8. Particulate matter formation	kg PM10 eq	12305,36	12305,36	12305,36	22137,97	22137,97	22137,97
9. Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	415,90	4147,47	415,76	1537,21	19289,91	1539,08
10. Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	10550,08	10754,16	10555,96	3052,12	4687,64	3052,27
11. Marine ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	-2639,67	-163220,57	167,81	22012,58	9841539,18	10761,90
12. Ionising radiation	kBq U235 eq	70816,07	70815,95	6735,42	1033069,96	1033069,96	91734,79
13. Agricultural land occupation	m2a	1978717,07	1978717,07	1978717,07	3244589,25	3244589,25	3244589,25
14. Urban land occupation	m2a	30109,06	30109,06	30109,06	1112998,30	1112998,30	1112998,30
15. Natural land transformation	m2	285,01	285,01	285,01	4615,67	4615,67	4615,67
16. Water depletion	m3	8980726,65	8980726,65	8980726,65	12274756,06	12274756,06	12274756,06
17. Metal depletion	kg Fe eq	1167372,89	1167601,68	1167601,68	1445140,49	1445315,02	1445315,02
18. Fossil depletion	kg oil eq	907635,76	906976,84	906976,84	5672276,08	5666001,97	5666001,97

Tabela I.4: Resultados não normalizados por categoria de impacto para a metodologia PEF.

Categoria de impacto	unidade	Implementação	Transportes
1. Climate change	kg CO2 eq	3524293	14789637
2. Ozone depletion	kg CFC-11 eq	0,162784	1,120705
3. Human toxicity, cancer effects	CTUh	0,114749	0,120338
4. Human toxicity, non-cancer effects	CTUh	1,974752	1,212567
5. Particulate matter	kg PM2.5 eq	3610,541	4547,125
6. Ionizing radiation HH	kg U235 eq	70677,37	1028844
7. Ionizing radiation E (interim)	CTUe	0,499025	7,293772
8. Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	18727,26	76612,16
9. Acidification	molc H+ eq	40092,84	45471,25
10. Terrestrial eutrophication	molc N eq	129353,2	237001,6
11. Freshwater eutrophication	kg P eq	226,1269	325,1883
12. Marine eutrophication	kg N eq	5413,633	21036,19
13. Freshwater ecotoxicity	CTUe	5579178	7670402
14. Land use	kg C deficit	7546005	44185190
15. Water resource depletion	m3 water eq	1387188	1561639
16. Mineral, fossil & ren resource depletion	kg Sb eq	14281,98	795,5171

Anexo J: Análise Multiobjetivo: Método AUGMECON

Tabela J.1: Tabela de payoff obtida com a otimização não lexicográfica.

	Custo total (€)	Impacto Ambiental (ptos)
Minimização Custo total	48.191.592,20	30.241,54
Minimização Impacto Ambiental	48.263.437,10	30.232,09

Tabela J.2: Tabela de payoff obtida através da otimização lexicográfica das funções objetivo.

	Custo total (€)	Impacto Ambiental (ptos)
Minimização Custo total	48.191.592,20	30.241,54
Minimização Impacto Ambiental	48.194.541,78	30.232,34

