

**LOCALIZAÇÃO DE CENTROS DE OPERAÇÕES LOGÍSTICAS NA LUÍS SIMÕES
LOGÍSTICA INTEGRADA S.A.**

José Luís de Almeida Lourenço

Projeto de Mestrado
em Gestão

Orientador:

Prof. Doutor José Mexia Crespo de Carvalho, Professor Catedrático, ISCTE Business School, Departamento de Marketing, Operações e Gestão Geral

Co-Orientadora:

Prof. Doutora Tânia Rodrigues Pereira Ramos, Professora Auxiliar, ISCTE Business School, Departamento de Marketing, Operações e Gestão Geral

abril 2014

Resumo

Neste projeto foi estudada a atual rede de distribuição da Luís Simões em Portugal Continental. Este projeto surge numa altura em que é necessário uma tomada de decisão a nível estratégico sobre a futura localização dos Centros de Operações Logísticas da Luís Simões.

A Luís Simões opera na península ibérica com +400.000m² de armazéns. De modo a apoiar a decisão sobre a futura localização dos Centros de Operações Logísticas da Luís Simões, foi desenvolvido um modelo que otimiza a localização dos referidos centros, através da minimização dos custos logísticos.

Foi realizada uma revisão bibliográfica sobre modelos de localização de modo compilar o que de mais importante foi publicado sobre este tema nas últimas décadas.

A partir da revisão bibliográfica e do conhecimento do problema, construiu-se um modelo em programação linear, que foi resolvido através da ferramenta *Solver do MS Excel*, proporcionando assim uma solução ótima para o problema.

Os resultados obtidos permitirão melhorar a rede de distribuição atual da Luís Simões, traduzindo-se em poupanças de custo significativas.

Palavras-chave – Localização de armazéns, Programação linear, Otimização, Logística

Abstract

In this Project were studied the current distribution network of Luís Simões in Portugal Continental.

The project consists in develop a model that optimizes the location of Logistics Operations Centers of Luís Simões, by minimizing logistics costs.

This Project comes at a time when a decision on a strategic level about the future location of Logistics Operations Centers of Luís Simões is required.

Based on this problem, a literature review was taken care, where studies what the most important was written over the past decades.

From the literature review and the knowledge of the problem, was built a linear programming model trough the tool Solver, providing an optimal solution.

The results allowed to improve the current distribution network of Luís Simões, will result in a significant savings.

Keywords - Location warehouses, Linear Programming, Logistics, Optimization

Índice Geral

Índice Geral	i
Índice de Figuras	ii
Índice de Tabelas	iv
Índice de Anexos	v
Lista de Abreviaturas	vi
Agradecimentos	vii
Sumário Executivo	viii
1- Introdução	1
2 – Definição do Contexto do Problema	2
2.1 – A Empresa Luís Simões	2
2.2 - Identificação do Problema	6
3 – Revisão Bibliográfica	7
3.1 - Logística e os Operadores Logísticos	7
3.2 – Redes de Distribuição.....	9
3.2.1 - Tipologias Básicas de Redes de Distribuição	10
3.3 - Localização de Instalações.....	13
3.3.1- Problemas de Localização de <i>Hubs</i>	15
3.4 – Centralização <i>versus</i> descentralização	18
4- Quadro Conceptual	21
5 – Metodologia	24
6 – Modelação da Rede Logística LS	25
6.1 – Formulação em Programação Linear	26
6.2 – Recolha dos Dados	28
6.3 – Construção do Modelo utilizando o <i>MS Excel</i>	39
6.5 – Análise de Sensibilidade	52
7 - Proposta de Solução	56
7.1 Método Estudado.....	56
7.2 - Limitações à Solução	58
8 - Conclusões	59
9 - Bibliografia	60
10 – Anexos	63

Índice de Figuras

Figura 1- Rede de centros de distribuição e cross-docking da LS.....	2
Figura 2 – Workflow LS.....	3
Figura 3 - Rede de distribuição point-to-point	10
Figura 4 - Rede de distribuição H&S	11
Figura 5 - Rede H&S single allocation.....	11
Figura 6 - Rede H&S multiple allocation.....	11
Figura 7 - Rede de distribuição Routing.....	12
Figura 8- Propostas de localização CD	25
Figura 9 - % procura por mercado Maio 2013	30
Figura 10 - Modelação da variável X_{ijF} pelo MS Excel.....	40
Figura 11 - Modelação da variável X_{ijD} pelo MS Excel	41
Figura 12 - Modelação da variável Y_j pelo MS Excel	41
Figura 13 - Modelação da capacidade de fluxos das fábricas para os CD no MS Excel	42
Figura 14 - Restrição da capacidade de fluxo dos CD para os mercados MS Excel.....	42
Figura 15 - Restrição da satisfação da procura.....	42
Figura 16 - Restrição da célula das variáveis binárias Y_j	43
Figura 17 - Função objetivo	43
Figura 18 - Célula de destino.....	43
Figura 19 - Tipo de otimização	44
Figura 20 - Seleção das células variáveis	44
Figura 21 - Seleção das restrições	44
Figura 22 - Opções do Solver.....	45
Figura 23 - Modelação do MS Excel hipótese A	46
Figura 24 - Modelação do fluxo dos CD para os mercados Hipótese A	46

Figura 25 - Modelação das fábricas para os CD pelo MS Excel Hipótese A.....	47
Figura 26 - Capacidade utilizada e excedente das fábricas após modelação hipótese A	47
Figura 27 - Capacidade utilizada e excedente dos CD após modelação hipótese A	47
Figura 28 - Modelação do MS Excel B	48
Figura 29 - Fluxo dos CD para os mercados após modelação MS Excel hipótese B.....	48
Figura 30 - Fluxo das fábricas para os CD na hipótese B	49
Figura 31 - Capacidade utilizada e excedente dos CD na hipótese B	49
Figura 32 - Modelação do MS Excel hipótese C.....	50
Figura 33 - Fluxo modelado pelo MS Excel dos CD para os mercados na hipótese C..	50
Figura 34 - Fluxo das fábricas para os CD na hipótese C	51
Figura 35 - Capacidade utilizada e excedente dos CD na hipótese C	51
Figura 36 - Procura mercados Julho 2013.....	53
Figura 37 - Modelação do MS Excel hipótese S	53
Figura 38 - Fluxo modelado pelo MS Excel dos CD para os mercados da hipótese S ..	54
Figura 39 - Fluxos das fábricas para os CD na hipótese S	54
Figura 40 - Capacidade utilizada e excedente dos CD na hipótese S.....	54
Figura 41 - Comparativo da modelação do MS Excel B e S.....	55
Figura 42 - Localização dos CD dada pelo MS Excel.....	57

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Modelos clássicos de Hub discretos	22
Tabela 2 - Procura dos mercados Maio 2013	29
Tabela 3 - Custo mensal CD	31
Tabela 4 - Capacidade CD (toneladas)	32
Tabela 5 - Custo quilómetro transporte primário	33
Tabela 6 - Custo quilómetro transporte secundário	34
Tabela 7 - Produção fábricas (toneladas)	34
Tabela 8 - Distância em quilómetros das fábricas para CD	35
Tabela 9 - Custo quilómetro das fábricas para os CD	35
Tabela 10 - Distâncias em quilómetros dos CD para os mercados	35
Tabela 11 - Custo quilómetro dos CD para os mercados	36
Tabela 12 - Custo de instalação e capacidade dos CD (toneladas)	37
Tabela 13 - Distância dos CD para os mercados	37
Tabela 14 - Custo de instalação e capacidades dos CD (toneladas)	38
Tabela 15 - Distância quilómetro das fábricas para CD	38
Tabela 16 - Custo quilómetro das fábricas para CD	39
Tabela 17 - Distância quilómetro dos CD para os mercados	39
Tabela 18 - Capacidade das fábricas dada pela variável FiF	41
Tabela 19 - Capacidade das fábricas dada pela variável Kj	42

Índice de Anexos

Anexo 1 - Encomendas 2013.....	63
Anexo 2 - Toneladas 2013.....	63
Anexo 3 - Paletes 2013.....	63
Anexo 4 - Espaços logísticos Lisboa.....	64
Anexo 5 - Valor de renda m2 grande Lisboa.....	64
Anexo 6 - Valor de renda m2 grande Porto.....	64

Lista de Abreviaturas

1 PL – First party Logistics

2 PL - Second party Logistics

3 PL - Third party Logistics

4 PL - Fourth party Logistics

CD – Centro de distribuição

CHLP - Capacited hub location problem

H&S – Hub-and-spoke

HCP - Hub covering problems

HLP - Hub location problem

HLPFC - Hub location problem with fixed costs

LP – Programação linear

LS – Luís Simões

MS – Microsoft

pHCP - p-Hub center problem

pHMP - p-hub median problem

SCM – Supply chain management

UHLP - Uncapacited hub location problem

Agradecimentos

Durante a elaboração deste projeto, foram muitas as pessoas que contribuíram, de uma forma ou de outra, até ao momento do seu desfecho e, como tal, não queria deixar passar esta oportunidade para lhes expressar o meu profundo e sincero agradecimento.

À Professora Tânia Ramos, pela paciência que teve comigo, pelo conhecimento transmitido e pela sua disponibilidade durante a co-orientação científica.

Ao Professor Catedrático José Crespo de Carvalho, quero agradecer-lhe pelas excelentes aulas que me proporcionou durante o EMBA da IBS, por ter aceite orientar este projeto e por todo o conhecimento transmitido.

À Luís Simões Logística Integrada S. A., por ter permitido a realização deste projeto, disponibilizando informação para o efeito.

À Fernanda, à Mariana e à Leonor, as três mulheres da minha vida, que me apoiaram incondicionalmente durante todo este caminho.

Finalmente aos meus Pais que apostaram sempre na minha formação.

Sumário Executivo

A globalização e deslocalização de algumas fábricas espalhadas pelo mundo provocaram um aumento na movimentação de mercadorias a nível global, trazendo maior complexidade às redes de distribuição.

As redes de distribuição assumem uma função estratégica nas organizações. As decisões estratégicas têm extrema relevância porque envolvem grandes investimentos com fortes impactos a longo prazo.

A Luís Simões (LS) é uma empresa familiar portuguesa de transporte e logística que foi constituída em 1968 e que opera essencialmente na península ibérica. O volume de vendas consolidado em 2013 foi de 209 milhões de euros.

A rede de distribuição da LS em Portugal Continental é composta por sete CD de gestão própria localizados em Azambuja, Carregado, Coimbra, Faro, Palmela e Vila Nova de Gaia.

Para a LS poder ser competitiva no mercado onde opera e apresentar soluções que criem valor para os seus clientes, tem de procurar ter em cada momento uma rede de distribuição que proporcione o custo logístico mais baixo, mantendo sempre a qualidade de serviço.

A LS depara-se atualmente com um problema de ter repartido os inventários dos seus clientes por mais que um CD na mesma região, criando grandes constrangimentos.

Este projeto incidiu na criação de um modelo de otimização, que resolvesse este problema e determinasse qual o número e localização dos CD que a LS deve ter, de modo a minimizar os seus custos logísticos, e, quais os mercados e que quantidades devem ser servidas a partir de cada CD.

Com base na revisão bibliográfica e nas questões colocadas, a escolha do método de resolução recaiu nos “métodos exatos”, mais concretamente na técnica de programação linear através do *MS Excel*.

Para encontrar a solução ótima foram submetidas três hipóteses de cenários possíveis de localização de CD:

- a hipótese A, que reflete a configuração atual;
- a hipótese B, que visa avaliar uma maior centralização dos CD;
- a hipótese C, que visa avaliar uma maior descentralização dos CD.

O custo logístico mais baixo foi alcançado pela hipótese B, com um custo total da rede de 3.826.376€. Esta solução traduz-se pela utilização apenas de dois CD de grande capacidade em Portugal Continental, a serem localizados no distrito do Porto e no distrito de Lisboa. De acordo com os resultados obtidos, existe um *saving* mensal de aproximadamente 268.404€ mês.

Pelos montantes envolvidos, este assunto merece atenção imediata, exigindo-se mudanças rápidas por parte da LS.

1- Introdução

Os custos associados à logística representam, para muitas empresas, uma parte significativa do custo final dos seus produtos.

Os efeitos provocados pela globalização e deslocalização de unidades produtivas, entre outros, provocaram um aumento significativo na movimentação de mercadorias a nível mundial, trazendo simultaneamente maior complexidade à gestão das cadeias de abastecimento.

As redes de distribuição assumem, assim, um papel estratégico nas organizações, sendo o seu principal objetivo transportar de forma eficiente determinada mercadoria de uma dada origem para um dado destino, cumprindo com os níveis de serviço definidos. Por esse motivo, a alteração ou aperfeiçoamento das redes de distribuição está sob constante monitorização e transformação, procurando responder em cada momento às exigências e condições do mercado.

Paralelamente, o nível de exigência dos clientes em termos de tempo, custo e qualidade de serviço, é cada vez mais elevado, para um universo crescente de produtos e serviços que apostam cada vez mais na diferenciação e na personalização dos mesmos.

A conjugação de todos estes fatores, associados a uma forte imprevisibilidade no consumo, leva muitas empresas a recorrer ao *outsourcing* logístico, transferindo esta complexidade e imprevisibilidade para parceiros logísticos, concentrando os seus esforços nas suas atividades nucleares.

A LS, como parceiro de logística e transporte (3PL), procura responder a este tipo de necessidades, bem como outras específicas de cada cliente.

A LS foi constituída em 1968, opera maioritariamente na península ibérica, com um volume de vendas consolidado em 2013 de 209 milhões de euros.

A LS conta atualmente com 14 centros de operações logísticas com um total de cerca de 400.000 m² e 10 centros de transporte, gerindo ainda, uma frota de 2.000 veículos próprios e em regime de subcontratação.

O lema da LS é “Ir mais longe ... até onde for o futuro!”

Fruto do crescimento da LS, suportado no reconhecimento dos seus clientes pela qualidade dos serviços que lhes presta, a LS depara-se atualmente com o problema de ter repartido os inventários dos seus clientes por mais do que um centro de distribuição (CD) na mesma região, criando ineficiências em termos de operações e de distribuição.

Assim, o projeto em questão pretende desenvolver um modelo de otimização logística que permita apoiar a decisão estratégica de localização dos futuros CD da LS.

Pretende-se determinar o número e localização dos futuros CD que minimizem os custos logísticos envolvidos, bem como, determinar que mercado e que quantidade cada CD deve servir em função da procura.

2 – Definição do Contexto do Problema

2.1 – A Empresa Luís Simões

Como já foi referido, a LS é uma empresa familiar portuguesa de transporte e logística, que opera fundamentalmente na península ibérica.

Embora a empresa tenha sido constituída em 1968, teve o seu início nos anos 30, quando o seu fundador Fernando Luís Simões transportava produtos perecíveis para os mercados abastecedores de Lisboa e Malveira.

Desde esses tempos até aos dias de hoje, a LS cresceu de forma sustentada tornando-se uma empresa de referência ibérica em termos de qualidade de serviço com elevado reconhecimento no setor dos transportes e logística.

A LS disponibiliza um conceito inovador de integração e verticalização de serviços logísticos à escala ibérica, a partir dos seus CD e plataformas regionais localizados em toda a Península Ibérica.

A partir da sua rede de plataformas em toda a Península Ibérica e num conceito de distribuição partilhada multicliente, a LS disponibiliza um serviço diário de distribuição ibérica com elevados níveis de serviço, padrões de qualidade e lead-times de entrega reduzidos.

Em 2013 o volume de vendas consolidado foi de 209 milhões de euros.

As áreas principais de negócio da LS são o transporte e a logística.

O transporte representa 56% do volume de vendas, abarca o transporte de mercadorias por rodovia e em regime complementar em alguns fluxos, por navio e/ou comboio e está suportado em 10 centros regionais de operações de transportes.

A logística representa cerca de 40% do volume de vendas e está suportado em 14 CD distribuídos pela Península Ibérica totalizando +400.000 m² de área de armazém.



Figura 1- Rede de centros de distribuição e cross-docking da LS

A rede de distribuição da LS em Portugal Continental, é composta por sete CD de gestão própria localizados em Azambuja, Carregado, Coimbra, Faro, Palmela e Vila Nova de Gaia (Rechousa e S. Caetano), e duas plataformas regionais subcontratadas localizadas em Portalegre e Vila Real.

O negócio da logística compreende os seguintes serviços:

- Transporte primário;
- Armazenagem em temperatura ambiente e refrigerada;
- Armazenagem de produtos em entreposto fiscal;
- Preparação de pedidos (*pick & pack*);
- Passagem de cais (*cross-docking*);
- Distribuição ibérica;
- Gestão de operações logísticas *in-house*;
- Controlo de inventários;
- Serviços de valor acrescentado (etiquetagens, expositores, *packs* promocionais, etc.);
- Gestão documental.

A carteira de clientes está distribuída por produtos alimentares e bebidas; higiene e limpeza; eletrodomésticos e eletrónica de consumo; dispositivos médicos; outros.

Na figura seguinte apresenta-se o *workflow* LS onde se evidencia o fluxo físico de produtos e de informação.

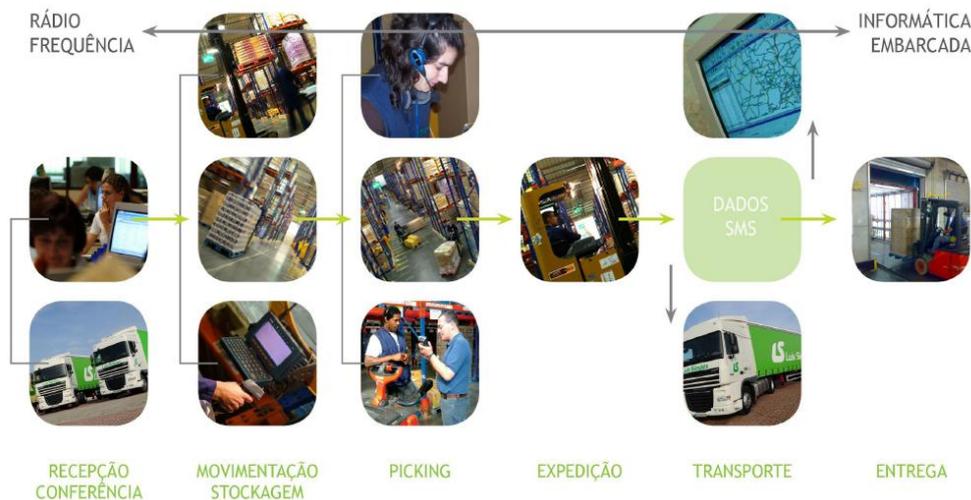


Figura 2 – Workflow LS

A LS apresenta as seguintes vantagens na utilização dos seus serviços:

- Dar a possibilidade aos clientes de incrementar o *focus* no seu *core-business*;
- Recursos humanos altamente especializados e experientes;
- Capacidade instalada em armazéns e veículos;
- Flexibilização dos custos logísticos;
- Visibilidade global sobre toda a cadeia de abastecimentos;
- Capacidade e flexibilidade operacional que lhe permite uma resposta aos picos de atividade;
- Utilização de tecnologias avançadas e aplicação das “*best practices*” do setor;
- Soluções desenhadas e adaptadas às necessidades de cada cliente e segmento;
- Comunicação embarcada nas viaturas, permitindo comunicação *on-line* entre o motorista e o centro de tráfego;
- Possibilidade de seguimento da atividade através de sistemas integrados de radiofrequência.

A nível de inovação e tecnologia a LS tem:

- Sistemas de informação integrados com os clientes e com as aplicações de negócio, permitindo a rastreabilidade da mercadoria, da origem ao destino (dentro e fora dos armazéns);
- Separação de rotas automatizadas para túneis de expedição;
- Automatização de movimento de paletes;
- Traçabilidade de lotes na cadeia de abastecimento;
- Seguimento de operações com padrões de aceitabilidade, permitindo que o controlo se focalize nas exceções;
- Domínio de aplicações de *business intelligence* que suportam os diferentes *balanced score card*.

... 60 Anos de empreendedorismo, valores éticos, visão estratégica, tecnologia e inovação...para ir mais longe...até onde for o futuro.

Visão:

“Ser a referência ibérica em termos de qualidade de serviço do setor dos transportes e logística.”

Missão:

“Garantir soluções eficientes e competitivas de transporte, logística e serviços auxiliares, promovendo a satisfação de clientes e sociedade em geral, sob o ponto de vista económico, social e ambiental.”

Valores:

Para realizar com sucesso esta missão, é essencial a divulgação e partilha dos seguintes valores fundamentais:

- Orientação para o cliente: Superar as expectativas dos clientes, através da prestação de serviços de valor acrescentado, suportados por soluções flexíveis, inovadoras e tecnologicamente avançadas;
- Respeito pelas pessoas: Garantir a qualificação contínua de todos os colaboradores, desenvolvendo competências para diferentes e desafiadores desempenhos das atividades com qualidade e segurança;
- Sustentabilidade: Favorecer o desenvolvimento sustentado da organização através de uma conduta transparente, social e eticamente responsável;
- Confiança: Pautar a atuação do grupo e dos seus colaboradores pelo respeito por colegas, clientes e fornecedores, acreditando nas capacidades de cada um na defesa dos valores LS.
- Lealdade: Basear a prática quotidiana no profissionalismo, no rigor de operações e na transparência das relações, colocando o interesse da LS acima do interesse pessoal, por forma a salvaguardar a credibilidade e boa imagem institucional;
- Inovação: Focalizar a gestão em processos estruturados e suportados por modernos sistemas tecnológicos, contribuindo para o desenvolvimento de vantagens competitivas face ao mercado;
- Ambiente: Implementar boas práticas ambientais, reduzindo os efeitos adversos resultantes da atividade e protegendo o meio envolvente;
- Preocupação pela segurança: Assegurar as melhores condições de trabalho com ações preventivas, por forma a eliminar os riscos inerentes à atividade e preservando o bem-estar dos colaboradores;
- Património: Manter a qualidade de instalações, equipamentos e marcas, garantindo a valorização e respeito de todos, especialmente dos colaboradores, e dignificando o seu posto de trabalho.

2.2 - Identificação do Problema

A rede de distribuição em qualquer indústria é parte determinante do negócio.

Uma rede de distribuição é avaliada essencialmente pelos seguintes parâmetros: qualidade de serviço, rapidez e custo de entrega.

A qualidade do serviço e a rapidez de entrega são fatores chave que não podem ser descuidados, sob pena dos clientes se sentirem insatisfeitos e procurarem outros parceiros de negócio no mercado, que por si só, já é bastante competitivo.

É importante que os clientes se sintam satisfeitos com o serviço prestado pois só desta forma é possível fortalecer relações.

Empresas que consecutivamente falham os prazos de entrega, que apresentam falhas de *picking* ou que não conseguem entregar os produtos em perfeitas condições, têm o seu futuro condicionado.

A rede de distribuição começa com o transporte primário, quando a mercadoria deixa as fábricas para se dirigir para os CD para só depois sair para os mercados.

As fábricas produzem em alguns casos centenas ou milhares de referências, que posteriormente têm que ser entregues nos clientes em perfeitas condições, na quantidade certa e no momento desejado. Este, constitui um dos grandes desafios das redes de distribuição.

Os pontos de entrega bem como as quantidades de produtos variam de dia para dia, assim como o preço dos transportes em função da oferta de veículos do momento.

Todos estes fatores, no seu conjunto, contribuem para que a rede de distribuição seja um problema de elevada complexidade para muitas empresas.

No caso da LS, sendo o operador logístico líder em Portugal, com uma forte carteira de clientes, todos estes problemas são exponenciados.

Para a LS ser competitiva no mercado onde opera e apresentar soluções que criem valor para os seus clientes, tem de procurar ter em cada momento uma rede de distribuição que proporcione o custo logístico mais baixo, mantendo a qualidade de serviço que caracteriza a empresa.

Fruto do seu crescimento, a LS depara-se atualmente com o problema resultante da repartição dos inventários dos seus clientes por mais de um CD na mesma região. Esta situação origina ineficiências ao nível de operações internas e distribuição.

Neste sentido, este projeto visa apoiar a LS no processo de tomada de decisão na localização de CD que melhor se adequem às necessidades atuais e futuras da empresa.

3 – Revisão Bibliográfica

3.1 - Logística e os Operadores Logísticos

“Muito embora nos dias de hoje seja inquestionável o contributo da logística para o desenvolvimento económico e social, em todas as épocas e latitudes, trata-se de um tema que foi pouco estudado durante muitos anos, o que explica, pelo menos parcialmente, a persistência de algumas insuficiências a nível conceptual (Moura, 2006)”.

Durante quase toda a sua história, a logística esteve apenas conotada à experiência militar, sendo-lhe atribuída a responsabilidade do êxito em muitas guerras, mas também como origem de muitos fracassos. A logística empresarial, como objeto de estudo, foi praticamente inexistente até aos anos 60.

Em 1962, dá-se o lançamento do artigo de Peter Drucker “*The Economy’s Dark Continent*” numa alusão à logística. Um ano mais tarde é constituído o *U.S. Council of Logistics Management*, a primeira organização que reunia todos os profissionais ligados à logística.

Até aos anos 70 verificou-se uma descoordenação entre as várias atividades da logística, surgindo a necessidade de gerir de forma mais eficiente os recursos, criando sinergias e melhorando processos. As atividades logísticas eram até então desenvolvidas por recursos próprios das organizações (em regime de *insourcing*), o que se designa por *First Party Logistics (1PL)*.

A partir dos anos 70, dá-se a passagem para uma logística integrada, cuja rapidez de resposta estava mais alinhada com as alterações que estavam a ocorrer na envolvente externa. Surgem também os operadores logísticos, resultado da expansão dos operadores tradicionais de transportes e armazenagem.

O final da década de 80 foi marcado por uma época de fortes mudanças a nível económico, social, político e tecnológico, que alterou a vida das organizações. Estas passaram cada vez mais a subcontratar atividades que não são nucleares. A aplicação do *outsourcing* às principais atividades da logística ficou conhecida por *Second Party Logistics (2PL)*, muito direcionadas para atividades como a armazenagem e transporte.

Na década de 90, assiste-se a uma crescente integração interna e externa, tendo a globalização e as novas tecnologias como agentes, surgindo o conceito de “*Supply Chain Management*” (SCM). Com a SCM, surgem também os *Third Party Logistics (3PL)*, operadores que asseguram a gestão integrada de várias atividades logísticas, incluindo serviços de valor acrescentado, normalmente personalizados em função das necessidades de cada cliente.

Por evolução quase natural, surgem os *Fourth Party Logistics (4PL)* associados ao desenvolvimento da SCM, que se diferenciam dos restantes, muitas das vezes, pela vertente tecnológica diferenciadora, que em articulação com os operadores 3PL, proporcionam soluções que respondem melhor à SCM. Os operadores 4PL podem também servir, muitas das vezes, de interface entre os clientes e múltiplos operadores

3PL que podem subcontratar, mantendo o cliente a relação com apenas um único operador. Interessante o fato que um operador 4PL que por força do seu crescimento e da massa crítica, pode ele também tornar os seus custos fixos em variáveis e beneficiar com esse efeito.

Não obstante toda esta evolução, a logística mantém características marcantes como seja a de um trabalho de fronteira, através da diminuição de descontinuidades e da gestão de *trade-offs* entre áreas funcionais, procurando reduzir os custos totais.

“A maior organização mundial de profissionais e académicos da área, o *Council of Supply Chain Management Professionals*, define Logística como parte da cadeia de abastecimento que é responsável por planear, implementar e controlar eficiente e eficazmente o fluxo direto e inverso e as operações de armazenagem de bens, serviços e informação relacionada entre o ponto de origem e o ponto de consumo de forma a ir ao encontro dos requisitos/necessidades dos clientes” (cit. Carvalho, 2010).

Com a crescente complexidade da chamada cadeia de abastecimento, aparentemente direcional e estável, a logística encontra-se a migrar da realidade da direccionalidade, muito embora em sentido múltiplo, para a realidade da rede, onde várias empresas funcionam como nós dessa mesma rede. “A Gestão Logística ou a Gestão da Network Logística, passa por planear e coordenar todas as atividades necessárias para alcançar níveis aceitáveis/desejáveis em serviço e qualidade ao mais baixo custo possível (Carvalho, 2004)”.

As empresas deixaram de competir por si só para passarem a ser parte integrante dos elos de cadeias de abastecimento que integram, tendo como principal objetivo melhorar a sua eficiência operacional, rentabilidade e posição competitiva.

Para atingir este objetivo é necessário recorrer a ferramentas de decisão que possam apoiar todo o processo de decisão ao longo da cadeia.

Estas ferramentas estão associadas aos diferentes níveis de tomada de decisão que dependem da frequência com que as decisões se tomam e do seu período de impacto. “A literatura aponta para diferentes níveis de decisões logísticas, que podem ser suportadas por modelos de apoio à decisão. Estes modelos estão divididos em Estratégicos, Táticos, Operacionais e Colaborativos. (Bartolacci et al. 2012)”.

As decisões estratégicas de planeamento logístico são fundamentais na medida em que normalmente envolvem grandes investimentos de capital e têm um impacto a longo prazo nas organizações. O horizonte temporal para decisões estratégicas pode ser de um a cinco anos. Um problema estratégico típico é a determinação do número ótimo de novas fábricas ou centros de distribuição, a localização e a dimensão que cada instalação deverá ter.

Biswas e Narahari (2004) desenvolveram um modelo denominado Desscom-Model e Desscom-Workbench para apoiar as decisões de nível estratégico, tático e operacional. Os autores apresentaram um caso de estudo real da empresa *LPG - Liquid Petroleum Gas* para demonstrar o funcionamento do Desscom. Os problemas centraram-se na localização das fábricas de enchimento, otimização de inventário por nível de agregação e otimização detalhada do nível de inventário com base em simulação.

Ainda dentro dos modelos estratégicos, Timpe e Kallrath (2000) apresentaram modelos com base numa abordagem de programação linear inteira mista para a produção, distribuição e planeamento das vendas. Este modelo foi aplicado a uma fábrica que produz vários produtos alimentares (*multi purpose*).

Os modelos logísticos táticos são usualmente implementados para alocar os recursos de produção e distribuição de forma eficaz ao longo de um horizonte de tempo mais curto do que os modelos estratégicos, podendo ser de um a doze meses. Os problemas táticos envolvem capacidade de mão-de-obra, política de inventários, negociações de serviço, estratégias de *outsourcing*, canais de distribuição, etc. Estes modelos podem ser combinados com os modelos estratégicos de uma empresa, tornando-se modelos híbridos.

Modelos híbridos de programação inteira mista e simulação também foram utilizados para o planeamento dos modos de transporte, que é um outro processo de decisão tática (Cordeau, 2006).

Carlsson e Ronnqvist (2005) propõem modelos integrados de logística e otimização de métodos de solução baseado em *branch-and-bound*, envolvendo problemas como o planeamento de rotas e decisão de seleção do modo de transporte.

Eskigun (2005) propõe um modelo de otimização baseado em heurísticas para apoiar decisões táticas na rede da cadeia de abastecimento considerando *lead-times*, a localização das instalações de distribuição, bem como a escolha do modo de transporte.

Os modelos operacionais aplicam-se em situações que envolvem períodos que podem ir desde uma hora até uma semana ou um mês. Um exemplo é o planeamento das operações de cais de carga, planeamento de carga por veículo, roteamento de veículos, expedição, processamento de entregas. Todas estas atividades representam um conjunto de problemas operacionais de transporte e logística (Stank e Goldsby, 2000).

3.2 – Redes de Distribuição

As redes de distribuição assumem uma importância decisiva ao assegurarem a ligação entre os elementos da cadeia.

Durante o processo de distribuição, as mercadorias podem ser transportadas por uma grande variedade de modos de transporte (aéreo, marítimo, ferroviário, rodoviário ou multimodal), com paragens intermédias em centros de distribuição ou terminais até chegarem ao seu destino final.

A sua configuração e a capacidade de adaptação às exigências de cada momento podem determinar o sucesso ou insucesso de uma ou várias organizações.

O aparecimento dos operadores logísticos veio revolucionar as redes de distribuição ao proporcionarem, grande parte das vezes, custos de distribuição mais baixos, com níveis de serviço mais elevados.

O elevado *know-how* do operador logístico nesta área, a partilha de recursos, a flexibilidade dos custos e a não necessidade de investimento em armazéns e frota, tem levado cada vez mais empresas optarem por confiar a sua rede de distribuição a operadores logísticos, centrando-se nas suas atividades *core*.

3.2.1 - Tipologias Básicas de Redes de Distribuição

Dentro da atividade do transporte e da logística, existem três tipologias básicas de redes de distribuição, que diferem em função da carga, do modo de transporte e da localização da procura. Estas tipologias são o *point-to-point*, *hub-and-spoke* e o *routing*.

Point-to-point

Esta tipologia de distribuição, também conhecida como envio direto ou carga direta, caracteriza-se por existir uma só origem e um só destino (ver Figura 3). Esta tipologia faz sentido quando o custo do transporte é baixo ou a procura por parte do destinatário é de tal forma elevada que permite a otimização do transporte, resultando em um custo unitário mais baixo. Um dos exemplos pode ser o transporte primário das fábricas para os CD.

Esta tipologia é também muito utilizada nos casos em que o fator tempo é mais importante que o custo, como é o caso do transporte de perecíveis, paquetaria, correios, etc.

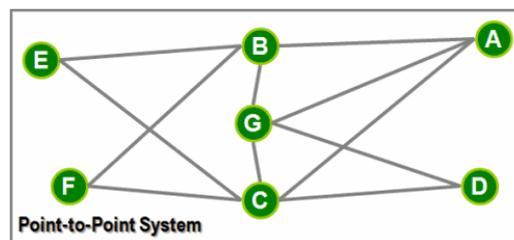


Figura 3 - Rede de distribuição point-to-point

Fonte: adaptado J.J. Coyle, E.J. Bardi and R.A. Novack (1994) *Transportation*, Fourth Edition, New York: West Publishing Company, p. 402.

Hub-and-spoke

A iniciativa do governo americano em 1978 no ato de desregulamentação das empresas aéreas (*The Airline Deregulation Act*), revolucionou a logística do transporte aéreo americano e mundial.

Um dos efeitos dessa medida foi o aumento das rotas *hub-and-spoke* (*H&S*) e a diminuição das ligações *point to point*. Nas rotas *H&S*, as companhias aéreas escolhem uma determinada cidade para ser o centro operacional dos seus voos, fazendo com que os passageiros mudem de avião no aeroporto selecionado como *hub*.

Numa rede *H&S*, as instalações ou *hubs* são utilizados como pontos concentradores (ver Figura 4), em que fluxos de nós não-hub que chegam ao *hub*, para depois serem reagrupados e redirecionados para outros *hubs* ou para os seus destinos finais.

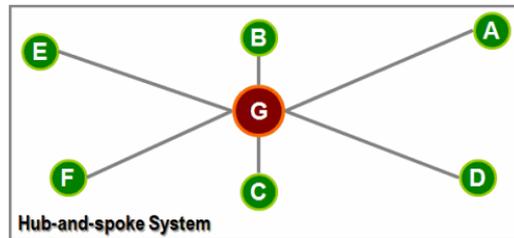


Figura 4 - Rede de distribuição H&S

Fonte: adaptado J.J. Coyle, E.J. Bardi and R.A. Novack (1994) *Transportation*, Fourth Edition, New York: West Publishing Company, p. 402.

Existem dois tipos básicos de redes *hub*, as redes *single allocation* (alocação única) e as redes *multiple allocation* (alocação múltipla). No *single allocation*, cada nó secundário está conectado a um único *hub* (Ver Figura 5). Na *multiple allocation*, cada nó secundário está conectado a mais de um *hub*, podendo receber ou enviar através de vários *hubs* (Ver Figura 6).

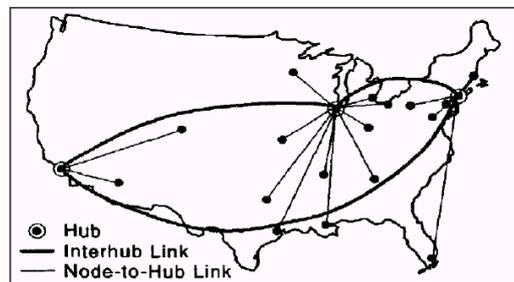


Figura 5 - Rede H&S single allocation

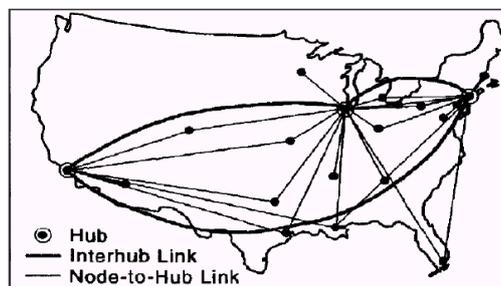


Figura 6 - Rede H&S multiple allocation

A rede *H&S*, veio permitir consolidar fluxos da mesma origem com diferentes destinos em uma única rota *hub*, bem como consolidar fluxos de diferentes origens para um mesmo destino, simultaneamente também veio permitir um aumento do número de destinos comparativamente com o sistema *point-to-point*.

Uma das vantagens do sistema *H&S* sobre o sistema *point-to-point*, é que as companhias que operam neste sistema ganham um maior poder negocial sobre a concorrência. Sendo os voos de ligação os que apresentam maior margem, podem praticar preços nos voos de curta distância mais baixos ou mais altos consoante os preços praticados pela concorrência.

Além do poder negocial, o sistema *H&S* veio proporcionar um maior número de voos diretos, facilidade de transferência de voos, tempo de ligação mais curto em pequenas distâncias, maximizar as rotas de maior procura, etc.

Para Aykin (1995), “o desenvolvimento de redes do tipo *H&S* é uma das inovações mais importantes da indústria. “Com a desregulamentação do transporte aéreo em 1978, veio permitir às companhias aéreas determinar as rotas que queriam oferecer e as tarifas que iriam praticar, passando a adotar redes do tipo *H&S*”.

A aplicação do sistema *H&S* teve as suas origens no transporte aéreo, mas rapidamente teve outras aplicações: transportes de passageiros e de carga (rodoviário, ferroviário e marítimo); serviço de correios; empresas de transporte urgente; telecomunicações; serviços de emergência; cadeias de retalho; indústria pesada; etc.

Routing

O *Routing* caracteriza-se pela existência de um conjunto de rotas, onde se verifica um elevado número de paragens. Quando bem aplicada é flexível, uma vez que a uma mesma rota podem-se atribuir mais paragens sem incorrer em custos excessivos.

Esta tipologia de distribuição é aplicada quando existe um número de veículos com um custo por paragem relativamente baixo (ver Figura 7). Esta tipologia é aplicada a serviços de distribuição, correios, paqueteria, transporte urbano de passageiros, etc.

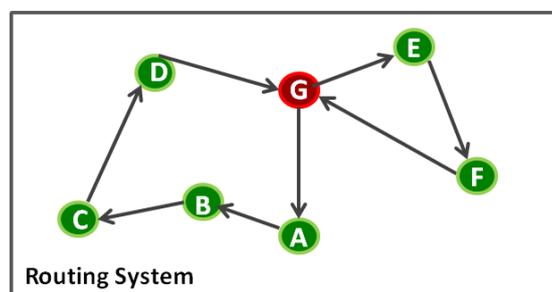


Figura 7 - Rede de distribuição Routing

Fonte: Próprio autor.

3.3 - Localização de Instalações

A localização de instalações na rede de distribuição é um tema de extrema relevância para os profissionais de logística, constituindo uma das questões de planeamento estratégico para muitas empresas (Ballou, 2004).

A estas decisões estão subjacentes avultados investimentos, com forte impacto no custo total da rede de distribuição. Esta decisão é o fator que vai determinar as condições para a gestão dos transportes e do nível de inventários necessários para alimentar a rede de distribuição.

A localização de infra estruturas é um fator crítico de sucesso de qualquer negócio.

Ballou (2004) enquadra os problemas de localização de instalações de acordo com os seguintes fatores críticos:

- *Driving force*, isto é, a localização é determinada por um fator crítico, como a margem de uma determinada região ou a acessibilidade.
- Número de instalações a serem instaladas (*single allocation e multiple allocation*).
- Definição da possível localização, ou seja, se existem locais predeterminados para a localização ou se o método de cálculo é que vai determinar a melhor localização. (métodos discretos ou contínuos)
- Nível de Agregação: os problemas de localização podem envolver um número elevado de possibilidades de configurações. Por vezes é necessário proceder à agregação de informação para que a dimensão do problema seja exequível.
- Horizonte Temporal: de acordo com o horizonte temporal, os métodos podem ser estáticos ou dinâmicos. Podemos encontrar uma localização para um período específico ou referente a vários períodos.

Alterações na configuração de uma rede de distribuição, é algo que não acontece com muita frequência. Quando acontece, está normalmente associada a fatores tais como: alterações nos padrões de procura, portfólio de produtos a comercializar, processos de produção a utilizar, estratégias de abastecimento ou custos operacionais das instalações.

No caso dos CD, o objetivo que está quase sempre subjacente à localização, é a maximização da rentabilidade da rede de distribuição, cumprindo os níveis de serviço mínimos definidos com os clientes. No caso de ser necessário aumentar o nível de serviço aos clientes, a solução pode passar pelo aumento do número de CD, encurtando o tempo e o custo de distribuição. Contudo, esta decisão obriga a mais investimento, mais inventário e mais custo de transporte entre as fábricas e os centros de distribuição.

As implicações de uma má localização de um CD podem gerar milhares de quilómetros que vão ser percorridos desnecessariamente por centenas de veículos, transportando milhares de toneladas ao longo dos anos.

Os métodos para a determinação da localização das infraestruturas podem ser classificados da seguinte forma (Ballou, 2004):

- Métodos exatos

São métodos matemáticos de programação linear que permitem determinar uma solução ótima para um problema, tendo em conta que se pretende maximizar ou minimizar um conjunto de variáveis relacionadas entre si, às quais se chama função objetivo. O problema pode ser modelado com recurso a uma folha de cálculo (por exemplo, *MS Excel*) ou *software* de modelação baseada em álgebra (por exemplo, GAMS). Em qualquer destas ferramentas encontra-se disponível um “*Solver*” para encontrar a solução ótima para o problema. O *Solver* é um algoritmo de resolução baseado no método do *branch-and-bound*.

- Métodos de simulação

Estes métodos permitem simular vários cenários com base em condições que o utilizador vai introduzindo, e que em função disso, o método apresenta várias propostas de solução. Embora os resultados através deste método não sejam os ótimos, apresentam índices de satisfação bastante elevados.

- Métodos heurísticos

A utilização de métodos heurísticos, tal como de simulação, embora não apresentem resultados ótimos, como os métodos exatos, permitem, num curto espaço de tempo e sem ser necessário grandes recursos computacionais, encontrar soluções muito próximas do ótimo. Os métodos heurísticos são algoritmos que partem de uma série de regras, que foram definidas pela experiência e pelo conhecimento do utilizador sobre a situação, proporcionando em muitos casos, uma solução rápida para o problema.

Nas últimas décadas foram desenvolvidas bastantes heurísticas que concorrem entre si em termos de velocidade e aproximação à solução ótima. A aplicação de métodos heurísticos nos problemas de localização tem recebido a atenção de muitos investigadores. Kuehn e Hamburger (1963) propuseram um algoritmo do tipo *Local Search* como ferramenta para localização de armazéns. A ideia deste algoritmo é partir de uma solução vizinha, somando ou subtraindo um armazém, ou mudando a sua localização e verificar se a nova solução vizinha é melhor do que a atual solução.

Ainda dentro dos métodos heurísticos encontramos outro tipo de métodos de resolução, os métodos meta-heurísticos. Os métodos meta-heurísticos diferenciam-se dos heurísticos, porque foram desenvolvidos para serem aplicados em diversas situações (mais genéricos). No caso dos métodos heurísticos, dificilmente conseguimos aplicar o mesmo método noutro problema.

As meta-heurísticas mais utilizadas nos problemas de localização são os algoritmos: *tabu search*; *genéticos* e *simulated annealing*.

A meta-heurística *tabu search* (*busca tabu*) funciona fugindo aos ótimos locais, para tentar encontrar o ótimo global. Desta forma, memoriza os diversos movimentos que não se podem repetir, por não trazerem melhorias à solução final.

Os *algoritmos genéticos* são inspirados na teoria da evolução de Darwin em que só sobrevivem as espécies mais fortes. O algoritmo funciona com uma população de soluções que se vão combinando duas a duas e que dão origem a diferentes soluções que combinam características dos progenitores. Quanto mais perto estivermos do ótimo, mais resistente será o indivíduo que ela representa. Hosage e Goodchild (1986) escreveram um artigo referente à aplicação dos *algoritmos genéticos* aos problemas de localização.

O algoritmo *simulated annealing* (*arrefecimento simulado*) começa a sua busca a partir de uma solução inicial qualquer e substitui-a por uma solução próxima de acordo com uma função objetivo e com uma variável que, quanto maior for o seu valor, maior será a componente aleatória na próxima solução escolhida. À medida que o algoritmo vai progredindo, é reduzido o valor da variável, tendendo o algoritmo a convergir para a solução ótima. A aplicação deste algoritmo aos problemas de localização foi feita por Aydin, Yigit e Fogarty (2002).

3.3.1- Problemas de Localização de *Hubs*

A partir das revisões bibliográficas realizadas por Alamur e Kara (2008), os problemas de localização de *hubs* clássicos são classificados em quatro grandes grupos: *p-hub median problem*, *hub location problem with fixed costs*, *p-hub center problem* e *hub covering problems*

3.3.2.1 *p-hub median problem* (*pHMP*)

O *pHMP* consiste em determinar a localização para instalação de um número pré-determinado de *p Hubs*. O objetivo do *pHMP* é minimizar a soma dos custos de distribuição entre as instalações e os mercados.

No início dos estudos sobre os problemas de localização, este era o problema mais investigado.

Os estudos consideram o *pHMP* analisado em duas perspetivas: *single allocation* (alocação única) e *multiple allocation* (alocação múltipla).

A primeira formulação de LP inteira para alocação única do *pHMP* foi produzida por Campbell (1994b).

As duas primeiras heurísticas para resolver o *pHMP*, de alocação única, foram propostas por O'Kelly (1987).

A solução mais eficiente e exata é a do algoritmo *branch-and-bound* apresentado por Ernst and Krishnamoorthy (1998b). Até ao momento atual, o maior conjunto de problemas que foi resolvido até ao ótimo tinha 100 nós.

Entre as melhores meta-heurísticas está a *tabu search* apresentada em Skorin-Kapov and Skorin-Kapov (1994) e a heurística de *simulated annealing* apresentada em Ernst and Krishnamoorthy (1996).

No *pHMP* de alocação múltipla, cada centro de procura pode enviar ou receber fluxos de mais de um *hub*.

Campbell (1992), foi o primeiro a criar uma fórmula para resolver o *pHMP* de *multiple allocation* através de programação linear inteira.

Ernst e Krishnamoorthy (1998a) apresentaram um método *branch- and-bound* baseado em programação linear. Também propuseram duas heurísticas. A primeira é do caminho mais curto com base heurística, e a segunda é uma heurística de enumeração explícita.

No mesmo ano, os autores Ernst e Krishnamoorthy (1998b) desenvolveram outro algoritmo *branch-and-bound* mais eficaz em termos computacionais. Este novo algoritmo, superou o algoritmo *branch-and-bound* LP de Ernst e Krishnamoorthy (1998a), que é cerca de 500 vezes mais rápido e exige muito menos memória.

Com este novo algoritmo eles foram capazes de fornecer soluções exatas para problemas maiores do que qualquer tentativa realizada.

3.3.2.2 - *Hub Location Problem with Fixed Costs – HLPFC*

O *HLPFC* é muito semelhante ao problema *pHMP* em termos de formulação, as diferenças estão na inclusão dos custos fixos no cálculo do custo total e na definição do número de *hubs*. No problema de *pHMP*, os custos fixos de abertura de instalações são ignorados.

O'Kelly (1992a) introduziu o *HLPFC* no *single allocation*, tornando o número de centros uma variável de decisão.

Campbell (1994b) apresentou as primeiras formulações de programação linear para os *Uncapacited Hub Location Problem - UHLP* e *Capacited Hub Location Problem - CHLP single allocation* e *multiple allocation*.

Vários estudos analisaram o *UHLP single allocation*. Este problema de localização de *hubs* tem sido o problema com mais estudos publicados.

3.3.2.3 - *The p-Hub Center Problem - pHCP*

O *pHCP*, é um problema semelhante ao *p-center problem*.

Campbell (1994b) foi o primeiro a formular e discutir o *pHCP*. Campbell definiu três tipos diferentes de *pHCP*:

- Minimização do máximo custo de transporte entre todos os pares origem-destino;

- Minimização do máximo custo de transporte entre todos os arcos da rede;
- Minimização do máximo custo de transporte entre todos os pares origem-hub ou hub-destino.

O primeiro tipo aplica-se a um sistema de *hub* envolvendo produtos perecíveis ou produtos sensíveis ao fator tempo como seja cargas urgentes. O segundo tipo, aplica-se no transporte de produtos que requerem alguma preservação, tais como o aquecimento ou refrigeração, que estão disponíveis na localização dos *hubs*. Para o terceiro tipo, exemplos similares aos do segundo tipo podem ser dados, considerando que as ligações de *hub-to-hub* podem ter características especiais.

Campbell (1994b) apresentou formulações para ambos os *HLP* de *single allocation* e *multiple allocation* para os 3 tipos do problema de *p-Hub Centro*.

Kara e Tansel (2000) forneceram várias formulações lineares para o *pHCP* de *single allocation*.

3.3.2.4. - *Hub Covering Problems - HCP*

Nos *HCP*, os nós de procura são considerados e estão cobertos se os mesmos se encontrarem a uma distância específica da instalação que consiga servir a procura. Tal como no *pHCP*, Campbell (1994b) definiu 3 critérios de cobertura para os *hubs*:

O par de origem-destino é coberto pelos *hubs* k e m se: o custo de i para j via k e m não exceda um determinado valor; se o custo de cada troço no caminho i para j via k e m não exceda um determinado valor; se cada troço do *hub* de origem e *hub* de destino encontram separadamente valores específicos.

O *HCP* divide-se em 2 grupos:

O problema de *HCP* cujo objetivo é localizar *hubs* de forma a cobrir toda a procura de forma ao custo de abertura dessas instalações ser minimizado.

O problema *HCP* máximo, cujo objetivo é cobrir o máximo de fluxos utilizando um número pré-estabelecido de *hubs*. Campbell (1994b) apresentou a primeira formulação inteira mista para estes dois problemas.

Kara e Tansel (2003) estudaram o *HCP* de *single allocation* e provaram que é NP-hard. Os autores apresentaram e compararam três linearizações diferentes do modelo quadrático original, bem como a apresentação de um novo modelo linear.

3.4 – Centralização *versus* descentralização

“A questão da centralização ou descentralização das entregas e das compras, bem como a maior ou menor autonomia de instalações fabris, pontos de venda e entrepostos em relação à estrutura central da empresa constitui, desde sempre, um problema com aproximações variadas, longe de gerar opiniões consensuais e pacíficas.” (Carvalho, 1996)

A centralização ou descentralização da logística está fortemente dependente da sua importância para a organização e do tipo de empresa que estamos a tratar. Contudo existem desde logo vantagens e desvantagens independentemente da sua importância para a organização.

(Pintel e Diamond cit. Carvalho, 1996) referem que a centralização pode conduzir a tomadas de decisão mais acertadas, uma vez que a estrutura central da empresa dispõe normalmente de competências especializadas, capazes de conduzir eficazmente o negócio do ponto de vista logístico. Aponta como grande desvantagem a distância por vezes que separa estas decisões das questões locais. Já sobre a descentralização, os mesmos autores referem como vantagens, que os gestores de instalações locais assumem maiores responsabilidades, conduzindo a um maior envolvimento no negócio com impacto nos resultados. Como principal desvantagem, apontam a duplicação de atividades como a compra, negociação e gestão dos stocks.

Stock e Lambert (2001) identificam quatro fatores decisivos relativamente ao número de armazéns a ter: custos das vendas perdidas, custos de inventário, custos de instalação e custos de transporte. Excluindo as vendas perdidas, do ponto de vista dos custos, ter mais instalações significa ter mais custos. Ainda assim afirmam ser necessário determinar os níveis de serviço que as empresas estão dispostas a assumir perante o mercado, sendo obrigadas a realizar *trade-offs* de forma a chegarem a uma solução de compromisso.

Acrescentam ainda outros fatores que afetam o número de instalações como seja, os hábitos de compra dos consumidores e a concorrência. Se os clientes encomendam quantidades pequenas e a concorrência é forte, a empresa necessita mais instalações localizadas próximas dos mercados. Nos casos em que existe incerteza e o transporte e colocação de encomendas são lentos, a solução poderá ser ter mais instalações (descentralização).

Para (Guedes, 2010) “o número ótimo de armazéns é obtido com base na relação de compromisso que otimiza o somatório dos custos de transportes primários (*inbound*), transportes secundários (distribuição), instalações, recursos humanos, inventários e sistemas de informação para um dado prazo de entrega pré-defenido”.

Para o autor, a maior ou menor centralização depende também da intensidade da procura e da sua variabilidade. Se estamos perante produtos com baixa procura independentemente da variabilidade na procura, a estratégia será sempre de maior centralização. Se a procura for baixa e a variabilidade for elevada a estratégia será de descentralização (tempo de resposta). Finalmente, se a procura for elevada e a variabilidade também, a estratégia a adotar vai depender do custo dos produtos. Se o

custo for baixo a estratégia será de descentralização, se o custo for elevado a estratégia será de centralização.

Os mesmos autores atribuem à centralização da distribuição, tipicamente, as seguintes vantagens:

- Redução dos custos com inventário;
- Maior rotação dos stocks;
- Homogeneização dos produtos;
- Maior disponibilidade de artigos;
- Economias de escala nas instalações e recursos humanos;
- Menor investimento;
- Gestão logística centralizada;
- Níveis de serviço similares e consistentes em todos os mercados;
- Reação mais rápida às alterações de mercado e oportunidade para a consolidação de cargas com redução dos custos unitários.

Por contrapartida, apontam as seguintes vantagens à descentralização:

- Prazos de entrega mais curtos;
- Custo total de transporte mais baixo;
- Adaptação dos produtos aos requisitos locais;
- Tecnologias de informação melhores e a um custo mais baixo permitem coordenação central com descentralização física;
- Maior visibilidade física no mercado local
- Maior conforto “psicológico” às áreas comercial e marketing.

Num mundo cada vez mais competitivo em termos de custo logístico, a centralização de armazéns logísticos é uma tendência que continua bem presente nas empresas de grande consumo. A solução mais cómoda para os mercados seria uma estratégia de descentralização com *lead times* mais curtos de entrega e uma maior flexibilidade. No entanto o não crescimento das vendas em mercados maduros como é o caso da Europa Ocidental, faz com que exista uma forte pressão para a redução dos custos logísticos. Neste contexto, a centralização é usualmente a solução encontrada para redução de custos.

Já em países emergentes, como Rússia, Brasil e China, a tendência é a descentralização, justificada pelas elevadas distâncias entre as cidades, que se desenvolvem a ritmos bastante acelerados sendo acompanhadas por um aumento acentuado do consumo, gerando a necessidade de ter plataformas logísticas de forma a garantir os *lead times* de entrega.

O papel dos sistemas de informação em todo este processo foi e continua a ser determinante, porque vieram permitir melhorar os *layouts* e desenhos das instalações, controlo de inventário, receção e expedição e a perda de informação. O somatório destas melhorias originou uma tendência de redução do número de instalações por instalações mais eficientes.

4- Quadro Conceptual

Os efeitos provocados pela globalização e deslocalização de unidades produtivas, entre outros, provocaram um aumento significativo na movimentação de mercadorias a nível mundial, potenciando o crescimento dos operadores logísticos.

Os operadores logísticos assumem neste contexto um papel decisivo, disponibilizando produtos ou serviços no tempo, lugar e quantidade, ao mais baixo custo logístico.

Num ambiente cada vez mais competitivo e complexo, é necessário responder de forma rápida e hábil. As empresas de uma forma geral são frequentemente confrontadas com situações de tomada de decisão, fazendo repensar e reconfigurar as suas estratégias logísticas procurando a racionalização dos processos operacionais.

As decisões sobre uma maior ou menor centralização dos centros de operações logísticas são típicas da configuração das redes de distribuição. O número ótimo de centros de operações deve ter em conta a minimização dos seguintes custos: transporte primário, transporte secundário (distribuição), instalações, recursos humanos, inventários, entre outros.

A centralização permite economias de escala nas instalações e recursos humanos, concentração dos inventários e aumento da sua rotação. Significa também maior disponibilidade de artigos e uma maior consolidação de cargas.

Por outro lado, a descentralização permite prazos de entrega mais curtos, proximidade física ao mercado, custos totais de transporte mais baixos e a possibilidade de adaptação dos produtos aos mercados (*co-packing*).

Através da revisão da literatura sobre problemas de localização concluiu-se que existem vários métodos para resolver este tipo de problemas, de acordo com a complexidade do mesmo e da sua especificidade.

A partir do trabalho de Campbell (1994), O' Kelly e Miller (1994), O' Kelly e Bryan (1999) e Alamur e Kara (2008), foi possível organizar as pesquisas científicas mais relevantes sobre modelação de *hubs* e quais as suas aplicações.

Estes modelos caracterizam-se por terem sido pioneiros. Posteriormente, apareceram outros que tratam os mesmos problemas variando a técnica utilizada ou adaptações para resolver problemas muito específicos. Na Tabela 1 encontra-se os modelos clássicos de localização de hubs.

Modelos	Versão	Autores	Aplicações	Objetivo
Localização de Hubs Uncapacited <i>p-Hub Median</i>	Single Allocation	O'Kelly (1987)	Localização de terminais de transporte de passageiros e carga	Custo Total da Rede
		Aykin (1990)		
		Campbell (1994b)		
		Klincewicz (1992)		
		Skorin-Kapov D., Skorin-Kavon J. e O'Kelly (1996)		
	Ernst e Krishnamoorthy (1996)			
	Multiple Allocation	Campbell (1994)		
Skorin-Kapov D, Skorin-Kapov J. e O'Kelly (1996)				
Ernst e Krishnamoorthy (1998)				
Localização de Hubs Capacited	Single Allocation	Ernst e Krishnamoorthy (1999)		
Hub Center		Campbell (1994)	Serviços de Emergência	Tempo de resposta
		Kara e Tansel (2000)		
Hub Covering		Campbell (1994b)		
		Kara e Tansel (2003)		
Posições Fixas dos Hubs	Conexões diretas	Jeng (1987)	Transporte aéreo de passageiros e carga	Custo Total da Rede
		Miller (1990)		
		Flynn e Ratick (1988)		
	Stopovers e feeders	Kuby e Gray (1993)		
	Maximizar lucros	Daskin e Panayotopoulos (1989)		
		Dobson e Lederer (1993)		
	Congestionamento	Grove e O' Kelly (1986)		
Hubs principal	Hall (1989)			
Mini-hubs	O' Kelly e Lao (1991)			
Irrestrito	O' Kelly (1998)			
Hubs Hierárquicos	Membros do clube de embarque	O' Kelly (1998)	Carga Expresso	Custo rede + tempo entrega

Tabela 1 - Modelos clássicos de Hub discretos

Os primeiros modelos de localização de *hubs* foram desenvolvidos inicialmente para transporte aéreo, tendo sido desenvolvidos outros modelos relacionados com o transporte de carga mais recentemente.

A maioria dos *HLP* clássicos enunciados neste estudo, são *NP-hard*. Assim, o potencial de solução exata para estes problemas é limitado.

Antes do ano 2000, a pesquisa sobre a localização de *hubs* é mais focada na definição e formulação de novos problemas. Estes novos problemas eram principalmente variantes do problema de localização *p-Hub median problem*, devido a primeira formulação matemática (O'Kelly, 1987).

Após o ano 2000, o foco é alterado para investigar diferentes metodologias de soluções para estes problemas. Considerando-se que os modelos *pHMP* são muito semelhantes em estrutura, os estudos voltaram-se para os modelos de *HLPFC*.

Por outro lado, o número total de artigos sobre o *pHCP* ou *HCP* são muito poucos em comparação com outros modelos. A principal razão é que estes problemas foram propostos em 1994 (Campbell, 1994b) e permanecem inalterados desde o ano 2000.

Também não há qualquer estudo das versões capacitadas do problema de *pHCP* e *HCP*.

Por outro lado, não há estudos suficientes na literatura que considerem mais que um objetivo.

Nas últimas duas décadas, devido ao um aumento das telecomunicações, transporte e logística, várias estratégias cooperativas diferentes, como alianças e fusões são formadas e muitos estudos industriais são dedicados a estas áreas. Nesses estudos, as estruturas de *H&S* têm recebido muita atenção, pois oferecem possibilidades de partilha de capacidade eficiente e gestão de frotas em diferentes troços de vias de transporte.

Além dos modelos clássicos *HLP*, foram desenvolvidos outros estudos mais recentemente aplicados à temática dos transportes.

Nickel et al. (2001) apresentou novos modelos de localização de *hubs* aplicados a redes de transportes públicos urbanos. Aversa et al. (2005) propôs um modelo para a localização de um *hub* porto marítimo na América do Sul. Konings (2005) investiga os efeitos do uso de redes de *hub* para o transporte de contentores em barcaças. Jeong et al. (2007) investiga um problema de rede *hub* para o sistema de transporte ferroviário de mercadorias na Europa.

Os métodos utilizados por sua vez subdividem-se em métodos exatos, métodos de simulação, métodos heurísticos e métodos meta-heurísticos.

5 – Metodologia

Neste projeto, o problema a ser tratado é o problema de localização de infraestruturas logísticas, sendo questionado o número e localização dos CD atuais da LS em Portugal Continental.

O problema de localização de instalações é uma das decisões que se enquadra na estratégia logística, tal é a sua importância para a organização pelo elevado investimento envolvido e pelo impacto que terá no futuro.

Assim, as questões de investigação que se pretendem responder neste projeto são:

- Qual o número e localização dos CD que a LS deve ter de modo a minimizar os custos logísticos?
- Quais os mercados e que quantidades devem ser servidas a partir de cada CD?

Para responder às questões de investigação enunciadas, e tendo em conta as características do problema, optou-se pela aplicação dos métodos exatos. Assim, o problema da LS será modelado através de programação linear com recurso a uma folha de cálculo do *MS Excel* e do suplemento *Solver*.

As razões subjacentes à escolha desta técnica são determinadas obviamente pelo objetivo do projeto, pela informação que foi disponibilizada pela Luís Simões e pela facilidade de acesso à ferramenta de otimização *Solver*, que se encontra disponível como suplemento do *MS Excel*. Esta ferramenta permite a resolução de problemas de otimização lineares, como é o caso de estudo.

O algoritmo disponibilizado pelo *Solver* no caso de problemas lineares é o método de resolução *Simplex LP*, tendo sido este o aplicado ao modelo.

6 – Modelação da Rede Logística LS

O tema que vai ser estudado e modelado diz respeito à configuração da futura rede de CD da LS em Portugal Continental.

O objetivo central do modelo é minimizar o somatório dos custos de instalação, transporte primário e transporte secundário (distribuição), em função de propostas de localização pré-determinadas tidas como potenciais para a localização dos futuros CD.

Vão ser submetidos ao modelo de otimização, três modelações com o objetivo de testar várias hipóteses de localizações que achamos pertinente analisar, com o intuito de encontrar a que apresente o menor custo total da rede (ver Figura 8).

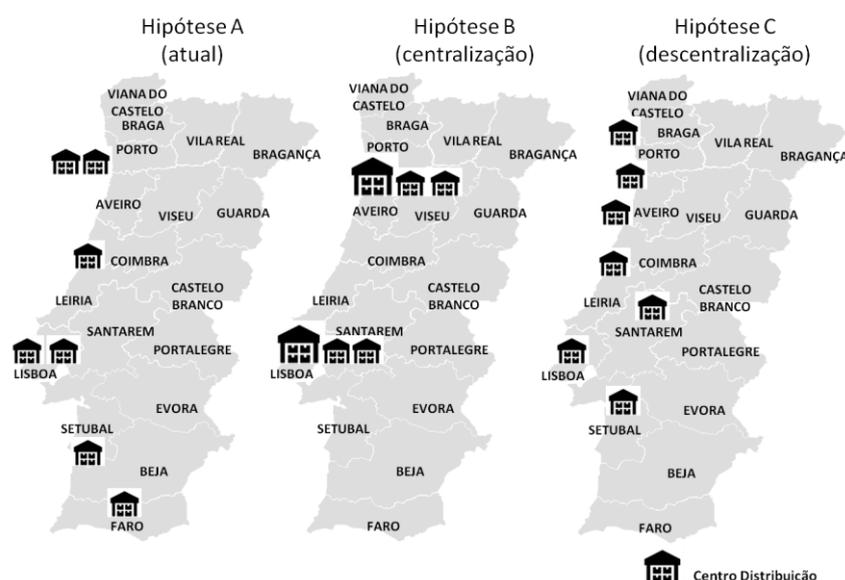


Figura 8- Propostas de localização CD

A primeira hipótese reflete a configuração atual da LS, com sete CD (Azambuja, Carregado, Coimbra, Faro, Gaia 1 (Rechousa), Gaia 2 (S. Caetano) e Palmela). Pretende-se analisar qual o custo total da rede atual de acordo com o modelo de otimização e determinar quais os mercados que serão servidos por cada CD.

A segunda hipótese é de centralização. Pretende-se avaliar os quatro CD atuais e dois novos de maior capacidade a serem localizados muito próximo dos atuais. (atuais: Azambuja, Carregado, Gaia 1 (Rechousa), Gaia 2 (S. Caetano); novos: NOVO NORTE, NOVO SUL). Nesta segunda hipótese, pretende-se calcular as economias de escala geradas por uma maior centralização dos CD e qual o impacto em termos dos custos de transporte.

A terceira hipótese é de descentralização. Pretende-se avaliar 7 localizações de CD novos. (Aveiro, Braga, Coimbra, Lisboa, Porto, Setúbal e Santarém). A escolha das localizações nesta hipótese recaiu essencialmente no peso transportado para cada um dos mercados e a sua proximidade às fábricas. Nesta terceira hipótese, pretende-se calcular o custo de uma maior aproximação às fábricas e aos mercados e qual o impacto em termos dos custos de transporte.

6.1 – Formulação em Programação Linear

O modelo é composto por conjuntos, parâmetros, variáveis, restrições e função objetivo.

Conjuntos:

- i Fábricas = $\{1, \dots, NF\}$
- j CD = $\{1, \dots, ND\}$
- l Mercados a Servir = $\{1, \dots, NM\}$

Parâmetros:

- D_l Procura do Mercado l
- F_i^F Capacidade da Fábrica i
- K_j^D Capacidade do CD j
- C_j^F Custo de Instalação de um CD j
- C_{ij}^F Custo de transportar 1 tonelada por Unidade de Distância (quilómetro) entre a Fábrica i e o CD j
- C_{jl}^D Custo de transportar 1 tonelada por Unidade de Distância (quilómetro) entre o CD j e o Mercado l
- d_{ij}^F Distância entre a Fábrica i e o CD j
- d_{jl}^D Distância entre o CD j e o Mercado l

Variáveis de Decisão:

Variáveis contínuas positivas:

- x_{ij}^F Peso de mercadoria transportada entre a Fábrica i e o CD j
- X_{jl}^D Peso de mercadoria transportada entre o CD j e o Mercado l

Variáveis binárias:

$Y_j = 1$ se o CD j for instalado; 0 se não for instalado

Variáveis auxiliares:

- Z1 – Custo total em unidades monetárias (u.m.)
- Z2 – Custo da instalação dos CD
- Z3 – Custo do transporte dos CD até aos mercados
- Z4 - Custo do transporte das fábricas até aos CD

Restrições:

$$\sum_j^{ND} x_{ij}^F \leq K_i^F \quad i=1, \dots, NF \quad (6.1.1)$$

$$\sum_j^{NM} x_{jl}^D \leq K_j^D Y_j \quad i=1, \dots, ND \quad (6.1.2)$$

$$\sum_i^{NF} x_{ij}^F = \sum_l^{NM} x_{jl}^D \quad j=1, \dots, ND \quad (6.1.3)$$

$$\sum_l^{NM} x_{jl}^D = D_l \quad l=1, \dots, NM \quad (6.1.4)$$

$$Y_j = \{1,0\} \quad j=1, \dots, ND \quad (6.1.5)$$

$$x_{ij}^F \geq 0 \quad i=1, \dots, NF; j=1, \dots, ND \quad (6.1.6)$$

$$x_{jl}^D \geq 0 \quad j=1, \dots, NF; l=1, \dots, NM \quad (6.1.7)$$

As equações (6.1.1) e (6.1.2) representam as restrições relativas às capacidades das Fábricas e CD.

A equação (6.1.3) assegura que tudo o que entra no CD é entregue no Mercado.

A equação (6.1.4), garante que toda a procura tem obrigatoriamente de ser satisfeita através dos CD a instalar.

As equações de (6.1.5) a (6.1.7), representam características das variáveis de decisão, que correspondem a variáveis binárias e contínuas.

Função Objetivo:

$$\text{Min} \left(\sum_{j=1}^{ND} C_j^I Y_j + \sum_i \sum_j C_{ij}^F d_{ij}^F x_{ij}^F + \sum_j \sum_l C_{jl}^D d_{jl}^D X_{jl}^D \right) \quad (6.1.8)$$

A função objetivo está dividida em três partes:

$$Z2 = C_j^I Y_j$$

$$Z3 = C_{jl}^D d_{jl}^D X_{jl}^D$$

$$Z4 = C_{ij}^F d_{ij}^F x_{ij}^F$$

O cálculo de Z2 é dado pela multiplicação do custo de instalação j pela variável binária Y_j .

O cálculo de Z3 é dado pela multiplicação do custo de transporte dos CD para os mercados (C_{jl}^D), pela distância dos CD aos mercados (d_{jl}^D) pelo peso em toneladas transportado dos CD para os mercados (X_{jl}^D).

O cálculo de Z4 é dado pela multiplicação dos custos de transporte das fábricas para os CD (C_{ij}^F), pela distância das fábricas aos CD (d_{ij}^F), pelo peso em toneladas transportado das fábricas para os CD (x_{ij}^F).

6.2 – Recolha dos Dados

Para este estudo, a LS facultou uma base de dados com a informação relativa ao ano 2013.

Durante o ano de 2013 foram satisfeitas um total de 571.813 ordens de encomenda, com uma média diária de 2.269 ordens (ver Anexo 1).

Estas ordens de encomenda foram equivalentes a mais de 3.945 milhões de toneladas, movimentadas, com uma média diária de 15.657 toneladas (ver Anexo 2).

O número de europaletes movimentadas foi de 946.388, com uma média diária de 3.756 paletes (ver Anexo 3).

Para efeitos de simulação de hipóteses, foi escolhido o mês de Maio de 2013, sendo justificado mais à frente o motivo desta escolha.

Por razões de confidencialidade a base de dados não contém os valores reais, mas apenas valores indicativos.

A base de dados contém as seguintes informações por linha, correspondentes a cada encomenda nesse período:

- Data
- Mês
- Ordem de encomenda
- Número de paletes
- Número de volumes
- Peso
- Toneladas
- Distrito

Tendo em conta o elevado volume de informação, os dados foram tratados com recurso a tabelas dinâmicas do *MS Excel*, de forma a proporcionar uma leitura dos valores de forma rápida.

Tendo em conta o elevado número de destinatários diários a serem servidos nos diferentes mercados, com grande variação de pontos de entrega por dia e a grande variação de quantidades em função do dia da semana. Optámos por agregar o período temporal de um mês para efeitos de simulação.

A escolha recaiu sobre o mês de Maio de 2013, por refletir a quantidade média em toneladas transportadas (ver Anexo2).

Os dados relativos à procura foram agregados por distrito para efeitos de análise.

MERCADOS	TONELADAS
AVEIRO	16.954
BEJA	1.698
BRAGA	16.887
BRAGANÇA	2.499
CASTELO BRANCO	3.811
COIMBRA	10.314
ÉVORA	2.759
FARO	4.113
GUARDA	837
LEIRIA	9.038
LISBOA	120.588
PORTALEGRE	1.551
PORTO	80.192
SANTARÉM	20.464
SETÚBAL	32.548
VIANA DO CASTELO	3.223
VILA REAL	2.423
VISEU	5.035
TOTAL	334.935

Tabela 2 - Procura dos mercados Maio 2013

Em termos de peso, a procura está concentrada nos distritos de Lisboa e Porto, que no seu conjunto, representam 50% do total, seguidos de Setúbal, Braga, Aveiro, Santarém e Coimbra que totalizam 29%. Os restantes 21% estão divididos pelos restantes 11 distritos do País (ver Figura 9).

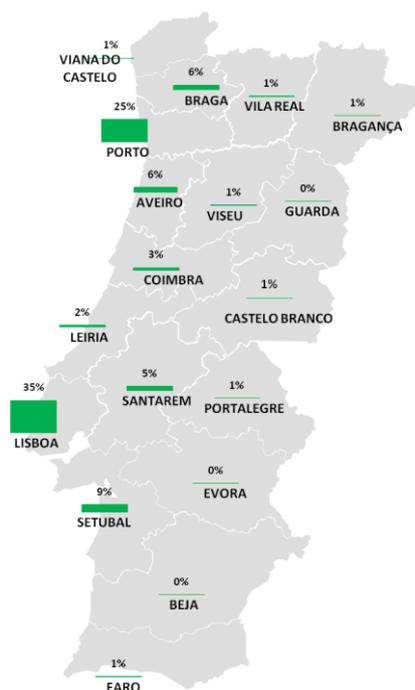


Figura 9 - % procura por mercado Maio 2013

Os custos totais da rede de distribuição resultam de um somatório de três custos:

- Custos de Instalação
- Transporte primário
- Transporte secundário (distribuição)

Custos de instalação:

Os custos de instalação representam o somatório de quatro grandes rubricas:

- Amortizações/rendas
- Equipamentos
- Recursos humanos
- Outros

Amortizações/rendas:

As amortizações/rendas dizem respeito ao custo com o espaço das instalações físicas, sejam próprias ou em regime de aluguer.

Equipamentos:

Para movimentação dos produtos nos CD, é necessário equipamentos específicos do tipo: *order pickers*; empilhadores retráteis; *stacker's*; empilhadores convencionais; etc

Recursos humanos:

Englobam todos os custos com recursos humanos diretos e indiretos relacionados com a atividade de operações internas e planeamento de distribuição.

Outros:

Inclui todos os custos relacionados com o bom funcionamento dos CD: água, eletricidade, serviço de vigilância, serviço de limpeza, manutenção, etc.

Os custos de instalação que nos foram fornecidos pela LS estão agregados pelas quatro rúbricas já referidas e são os seguintes:

CD	Custo CD
Azambuja	400.000 €
Carregado	1.320.000 €
Coimbra	120.000 €
Faro	25.000 €
Gaia 1	216.000 €
Gaia 2	300.000 €
Palmela	14.000 €
TOTAL	2.395.000 €

Tabela 3 - Custo mensal CD

Em termos de capacidade em toneladas, a LS forneceu as seguintes capacidades por CD:

CD	Capacidade
Azambuja	50.000
Carregado	220.000
Coimbra	20.000
Faro	5.000
Gaia 1	45.000
Gaia 2	60.000
Palmela	2.000
TOTAL	402.000

Tabela 4 - Capacidade CD (toneladas)

A nível do transporte, a LS utiliza um modelo misto de frota própria e subcontratada.

A frota própria está mais orientada para fluxos de média e longa distância, como seja, o transporte primário das fábricas para os CD e o envio de cargas diretas de e para qualquer ponto da Europa. A frota subcontratada abarca o tipo de serviço da frota própria e ainda o transporte secundário (distribuição).

Transporte primário:

O transporte primário compreende o transporte das fábricas para os CD.

O transporte primário é realizado maioritariamente em carga completa (*Full Truckload*) de forma a minimizar o custo de transporte das fábricas para os CD. Este transporte é realizado por veículos articulados de grandes dimensões com capacidade de transportar, em média, 24 toneladas cada.

As fábricas procuram otimizar o custo do transporte enviando o máximo de mercadoria por veículo, dentro dos limites legais impostos. O custo do transporte neste caso é calculado sobretudo em função da variável quilómetros.

Uma parte significativa do transporte primário não é realizada pela LS, sendo este serviço contratado a empresas concorrentes. Não tendo acesso aos custos destes serviços de transporte, foram considerados os custos do transporte primário quando este é realizado pela LS.

Para cálculo do custo do transporte primário, foi fornecido pela LS uma tabela (ver tabela 5) com o custo por quilómetro por tonelada, que varia de acordo com a distância ao CD.

CD	Aveiro	Beja	Braga	Bragança	C. Branco	Coimbra	Évora	Faro	Guarda
Aveiro	0,065 €	0,045 €	0,042 €	0,042 €	0,040 €	0,038 €	0,042 €	0,042 €	0,041 €
Lisboa	0,039 €	0,045 €	0,040 €	0,042 €	0,041 €	0,039 €	0,045 €	0,042 €	0,042 €
Porto	0,040 €	0,045 €	0,038 €	0,043 €	0,041 €	0,042 €	0,043 €	0,042 €	0,041 €
Santarém	0,038 €	0,044 €	0,042 €	0,043 €	0,042 €	0,038 €	0,045 €	0,044 €	0,044 €
Setúbal	0,038 €	0,042 €	0,040 €	0,043 €	0,041 €	0,038 €	0,040 €	0,042 €	0,042 €

CD	Leiria	Lisboa	Portalegre	Porto	Santarém	Setúbal	V. Castelo	Vila Real	Viseu
Aveiro	0,038 €	0,037 €	0,039 €	0,037 €	0,039 €	0,038 €	0,043 €	0,044 €	0,040 €
Lisboa	0,040 €	0,043 €	0,042 €	0,038 €	0,040 €	0,042 €	0,042 €	0,044 €	0,043 €
Porto	0,040 €	0,038 €	0,042 €	0,042 €	0,040 €	0,038 €	0,038 €	0,043 €	0,041 €
Santarém	0,037 €	0,042 €	0,046 €	0,038 €	0,100 €	0,042 €	0,044 €	0,045 €	0,042 €
Setúbal	0,039 €	0,042 €	0,040 €	0,038 €	0,041 €	0,100 €	0,042 €	0,043 €	0,041 €

Tabela 5 - Custo quilómetro transporte primário

Transporte secundário:

O transporte secundário compreende o transporte dos CD para os clientes (distribuição).

O transporte secundário é realizado maioritariamente em carga fracionada (*Less Than Truckload*), salvo algumas situações em que pela elevada quantidade é mais viável economicamente e operacionalmente o envio direto (carga completa).

Em função da distância, quantidade, peso, volume a transportar, tipo de carga, disponibilidade de frota, limitações nos destinatários, ..., são assignados diferentes tipologias de veículos.

A tipologia de veículos da LS divide-se da seguinte forma:

- Tipo 1 - capacidade para 3 euro-paletes e 1.500 quilos de carga
- Tipo 2 – capacidade para 10 euro-paletes e 7.500 quilos de carga
- Tipo 3 – capacidade para 20 euro-paletes e 10.000 quilos de carga
- Tipo 4 – capacidade para 22 euro-paletes e 15.000 quilos de carga
- Tipo 5 – capacidade para 34 euro-paletes e 24.000 quilos de carga
- Tipo 6 – capacidade para 38 euro-paletes e 24.000 quilos de carga

Dentro de cada uma destas tipologias, os veículos podem estar equipados com caixa de carga de lona, isotérmica ou frigorífica.

Em termos de custo o transporte secundário é definido em função do mercado. Para a formatação deste preço são consideradas variáveis tais como: distância, tempo, número de descargas, taxa de ocupação do veículo, maior ou menor concentração de destinatários, relevo geográfico (combustível), existência de portagens em autoestradas ou scut's, ...

Para cálculo do custo do transporte secundário, foram fornecidos pela LS os seguintes custos por quilómetro por tonelada entregue:

Mercado	Valor Ton/Km	Mercado	Valor Ton/Km
Aveiro	0,068 €	Leiria	0,077 €
Beja	0,100 €	Lisboa	0,061 €
Braga	0,080 €	Portalegre	0,072 €
Bragança	0,102 €	Porto	0,066 €
C. Branco	0,087 €	Santarém	0,074 €
Coimbra	0,076 €	Setúbal	0,064 €
Évora	0,081 €	V. Castelo	0,090 €
Faro	0,099 €	Vila Real	0,102 €
Guarda	0,092 €	Viseu	0,078 €

Tabela 6 - Custo quilómetro transporte secundário

O objetivo no transporte secundário é realizar o maior número de entregas, sendo para isso necessário consolidar o máximo de carga por rota. A essa rota está subjacente uma sequência pré-determinada de entregas e/ou levantamentos.

Essa sequência é determinada pelo planeamento de rotas, tendo como objetivo final a realização de todas as entregas nos prazos de entrega definidos através do caminho mais curto e ao mais baixo custo.

Parâmetros Hipótese 1:

Os valores da tabela 7 refletem a produção mensal das fábricas em toneladas no envio dos fluxos de *inbound* para os CD da LS no mês de Maio de 2013.

Existem 5 localizações de fábricas que abastecem maioritariamente os CD da LS, situadas nos distritos de Aveiro, Lisboa, Porto, Santarém e Setúbal.

Fábricas	Produção
Aveiro	56.987
Lisboa	100.988
Porto	86.986
Santarém	42.987
Setúbal	46.987

334.935

Tabela 7 - Produção fábricas (toneladas)

Os valores da tabela 8 refletem as distâncias das fábricas para os CD.

Estes valores foram obtidos com recurso ao *Google Earth*, considerando as localizações das fábricas e os atuais CD. Trata-se assim de distâncias reais.

Kms	Coimbra	Faro	Lisboa	Porto	Setúbal
Aveiro	58	502	244	68	294
Lisboa	196	299	36	313	50
Porto	117	571	313	31	363
Santarém	137	299	78	254	121
Setúbal	246	249	50	363	15

Tabela 8 - Distância em quilómetros das fábricas para CD

Os valores da tabela 9 refletem o custo por quilómetro em valor, considerando o transporte das fábricas para os CD (envios diretos). Os valores apresentados foram fornecidos pela LS e refletem os preços de referência para o transporte de carga completa, realizado por veículos de grandes dimensões (tipologia 5) com capacidade para 33/34 euro paletes por viagem.

Valor Km	Coimbra	Faro	Lisboa	Porto	Setúbal
Aveiro	0,038	0,042	0,037	0,037	0,038
Lisboa	0,039	0,042	0,043	0,038	0,042
Porto	0,042	0,042	0,038	0,042	0,038
Santarém	0,038	0,044	0,042	0,038	0,042
Setúbal	0,038	0,042	0,042	0,038	0,100

Tabela 9 - Custo quilómetro das fábricas para os CD

A diferença do custo quilómetro de uma fábrica para cada CD, varia essencialmente em função da quantidade de quilómetros que o veículo vai realizar, da hora e duração de cada entrega, da maior ou menor oferta de cargas de retorno na zona onde esta instalado o CD, etc.

Os valores da tabela 10 refletem a distância em quilómetros dos CD para os mercados (clientes). Estes valores foram fornecidos pela LS com base no número de quilómetros realizado em média para cada um dos mercados.

CD	Aveiro	Beja	Braga	Bragança	C. Branco	Coimbra	Évora	Faro	Guarda
Azambuja	250	198	372	512	264	202	156	305	370
Carregado	247	195	369	509	261	199	153	302	367
Coimbra	58	332	170	312	159	10	254	454	168
Faro	502	152	624	724	416	454	213	27	522
Gaia 1	60	441	45	245	268	109	363	563	210
Gaia 2	62	443	47	247	270	111	365	565	212
Palmela	299	147	421	563	270	251	108	254	376

CD	Leiria	Lisboa	Portalegre	Porto	Santarém	Setúbal	V. Castelo	Vila Real	Viseu
Azambuja	135	42	237	319	84	56	395	408	298
Carregado	132	39	234	316	81	53	392	405	295
Coimbra	67	196	239	117	137	246	193	206	96
Faro	387	299	344	571	299	249	647	660	607
Gaia 1	176	305	348	23	246	355	63	108	125
Gaia 2	178	307	350	25	248	357	65	110	127
Palmela	184	55	198	368	126	20	415	457	347

Tabela 10 - Distâncias em quilómetros dos CD para os mercados

No caso específico das distâncias dos centros de distribuição para os mercados, não é possível fornecer dados exatos dos quilómetros, uma vez que se trata de transporte de carga fracionada com um elevado número de entregas, sendo o número de quilómetros resultado da localização de cada destinatário e da sequência de entregas que foi planeada na rota.

Os valores da tabela 11 refletem o custo quilómetro dos CD para os mercados (clientes).

CD	Aveiro	Beja	Braga	Bragança	C. Branco	Coimbra	Évora	Faro	Guarda
Azambuja	0,068 €	0,100 €	0,080 €	0,102 €	0,087 €	0,076 €	0,081 €	0,099 €	0,092 €
Carregado	0,068 €	0,100 €	0,080 €	0,102 €	0,087 €	0,076 €	0,081 €	0,099 €	0,092 €
Coimbra	0,068 €	0,100 €	0,080 €	0,102 €	0,087 €	0,076 €	0,081 €	0,099 €	0,092 €
Faro	0,068 €	0,100 €	0,080 €	0,102 €	0,087 €	0,076 €	0,081 €	0,099 €	0,092 €
Gaia 1	0,068 €	0,100 €	0,080 €	0,102 €	0,087 €	0,076 €	0,081 €	0,099 €	0,092 €
Gaia 2	0,068 €	0,100 €	0,080 €	0,102 €	0,087 €	0,076 €	0,081 €	0,099 €	0,092 €
Palmela	0,068 €	0,100 €	0,080 €	0,102 €	0,087 €	0,076 €	0,081 €	0,099 €	0,092 €

CD	Leiria	Lisboa	Portalegre	Porto	Santarém	Setúbal	V. Castelo	Vila Real	Viseu
Azambuja	0,077 €	0,061 €	0,072 €	0,066 €	0,074 €	0,064 €	0,090 €	0,102 €	0,078 €
Carregado	0,077 €	0,061 €	0,072 €	0,066 €	0,074 €	0,064 €	0,090 €	0,102 €	0,078 €
Coimbra	0,077 €	0,061 €	0,072 €	0,066 €	0,074 €	0,064 €	0,090 €	0,102 €	0,078 €
Faro	0,077 €	0,061 €	0,072 €	0,066 €	0,074 €	0,064 €	0,090 €	0,102 €	0,078 €
Gaia 1	0,077 €	0,061 €	0,072 €	0,066 €	0,074 €	0,064 €	0,090 €	0,102 €	0,078 €
Gaia 2	0,077 €	0,061 €	0,072 €	0,066 €	0,074 €	0,064 €	0,090 €	0,102 €	0,078 €
Palmela	0,077 €	0,061 €	0,072 €	0,066 €	0,074 €	0,064 €	0,090 €	0,102 €	0,078 €

Tabela 11 - Custo quilómetro dos CD para os mercados

Os valores referentes ao custo quilómetro dos CD para os mercados foram fornecidos pela LS, com base nos custos de referência para entregas em cada mercado.

O custo varia de acordo com a localização do CD face ao mercado, da maior ou menor concentração de destinatários por m2, das características do relevo geográfico devido ao impacto no consumo de combustível e desgaste do próprio veículo, da necessidade de pagamento de portagens em autoestradas ou Scuts, etc.

Parâmetros Hipótese 2:

Os valores considerados na hipótese 2 relativamente à produção mensal das fábricas são os mesmos que na hipótese 1.

A hipótese 2 pretende avaliar, em termos de custo, se é ou não preferível ter a operação dividida em dois CD muito próximos como é o caso dos CD do Carregado e Azambuja ou dos CD de Gaia 1 (Rechousa) e Gaia 2 (S. Caetano) ou se é preferível centralizar.

Em termos de valorização dos custos de instalação dos CD NOVO NORTE e CD NOVO SUL e tendo em conta a elevada oferta de instalações logísticas disponíveis para aluguer no momento atual, foi considerado para o estudo em questão o valor de renda de espaços de logística, publicado pela consultora imobiliária CBRE no final do primeiro semestre de 2013 (Ver anexos 5 e 6).

O valor apresentado por m2 foi de 3,25€ para espaços logísticos localizados no polo logístico de Lisboa Norte e Carregado, sendo também o mesmo valor para os espaços logísticos de Vila Nova de Gaia e Matosinhos.

CD	Custo CD	CD	Capacidade
NOVO SUL	1.624.000 €	NOVO SUL	270.000
Carregado	1.320.000 €	Carregado	220.000
Azambuja	400.000 €	Azambuja	50.000
NOVO NORTE	547.200 €	NOVO NORTE	144.000
Gaia 1	216.000 €	Gaia 1	45.000
Gaia 2	300.000 €	Gaia 2	60.000
TOTAL	4.407.200 €	TOTAL	789.000

Tabela 12 - Custo de instalação e capacidade dos CD (toneladas)

Os valores referentes às distâncias das fábricas para os CD, são os mesmos que foram considerados na hipótese 1.

Os valores referentes ao custo por quilómetro das fábricas para os CD (envios diretos), são os mesmos que foram considerados na hipótese 1.

Os valores da tabela 13 refletem a distância em quilómetros dos CD para os mercados (clientes). Relativamente aos CD já existentes foram utilizados os valores da hipótese 1, no caso dos CD com a indicação NOVO, foram consideradas as distâncias de potenciais localizações disponíveis para aluguer.

CD	Aveiro	Beja	Braga	Bragança	C. Branco	Coimbra	Évora	Faro	Guarda
NOVO SUL	244	192	366	506	258	196	150	299	364
Carregado	247	195	369	509	261	199	153	302	367
Azambuja	250	198	372	512	264	202	156	305	370
NOVO NORTE	68	449	53	253	276	117	371	571	218
Gaia 1	60	441	45	245	268	109	363	563	210
Gaia 2	62	443	47	247	270	111	365	565	212

CD	Leiria	Lisboa	Portalegre	Porto	Santarém	Setúbal	V. Castelo	Vila Real	Viseu
NOVO SUL	129	36	231	313	78	50	389	402	292
Carregado	132	39	234	316	81	53	392	405	295
Azambuja	135	42	237	319	84	56	395	408	298
NOVO NORTE	184	313	356	31	254	363	71	116	133
Gaia 1	176	305	348	23	246	355	63	108	125
Gaia 2	178	307	350	25	248	357	65	110	127

Tabela 13 - Distância dos CD para os mercados

Foram considerados os mesmos valores de custo por quilómetro dos CD para os mercados que na hipótese 1.

Parâmetros Hipótese 3:

Os valores considerados na hipótese 3 relativamente à produção mensal das fábricas são os mesmos considerados na hipótese 1 e 2.

Os valores da tabela 14 refletem os custos de instalação em euros e a capacidade em toneladas dos novos CD.

CD	Custo CD	CD	Capacidade
Aveiro NOVO	105.000 €	Aveiro NOVO	17.500
Braga NOVO	180.000 €	Braga NOVO	30.000
Coimbra NOVO	162.000 €	Coimbra NOVO	27.000
Lisboa NOVO	1.190.000 €	Lisboa NOVO	170.000
Porto NOVO	630.000 €	Porto NOVO	90.000
Santarém NOVO	180.000 €	Santarém NOVO	30.000
Setúbal NOVO	180.000 €	Setúbal NOVO	30.000
TOTAL	2.627.000 €	TOTAL	394.500

Tabela 14 - Custo de instalação e capacidades dos CD (toneladas)

Para os CD de Lisboa NOVO e Porto NOVO, foram considerados custos de instalação mais altos (7€/ton.) devido ao custo de aluguer ser mais elevado nestas zonas. Para as restantes localizações não existe avaliação imobiliária disponível, tendo sido considerado um valor ligeiramente abaixo (6€/ton.).

Em termos de capacidade foi atribuída uma capacidade superior aos CD de Lisboa NOVO e CD Porto NOVO em função dos fluxos de entrada e saída. Utilizou-se também o mesmo critério para as capacidades dos restantes.

Os valores da tabela 15 refletem as distâncias das fábricas para os CD. Estas distâncias foram calculadas com base nas distâncias atuais, corrigindo o valor de quilómetros, tendo em conta as localizações potenciais dos centros de distribuição.

Fábricas	Aveiro	Braga	Coimbra	Lisboa	Porto	Santarém	Setúbal
Aveiro	28	121	58	244	68	185	294
Lisboa	244	366	196	36	313	78	50
Porto	68	53	117	313	31	254	363
Santarém	185	307	137	78	254	15	121
Setúbal	294	416	246	50	363	121	15

Tabela 15 - Distância quilómetro das fábricas para CD

Os valores apresentados na tabela 16 foram fornecidos pela LS e refletem os preços de referência para transporte primário (carga completa), realizados por veículos de grandes dimensões (tipologia 5) com capacidade para 33/34 euro paletes por viagem.

Fábricas	Aveiro	Braga	Coimbra	Lisboa	Porto	Santarém	Setúbal
Aveiro	0,065 €	0,042 €	0,038 €	0,037 €	0,037 €	0,039 €	0,038 €
Lisboa	0,039 €	0,040 €	0,039 €	0,043 €	0,038 €	0,040 €	0,042 €
Porto	0,040 €	0,038 €	0,042 €	0,038 €	0,042 €	0,040 €	0,038 €
Santarém	0,038 €	0,042 €	0,038 €	0,042 €	0,038 €	0,100 €	0,042 €
Setúbal	0,038 €	0,040 €	0,038 €	0,042 €	0,038 €	0,041 €	0,100 €

Tabela 16 - Custo quilómetro das fábricas para CD

Os valores da tabela 17 refletem a distância em quilómetros dos CD para os mercados (clientes). Estas distâncias foram calculadas com base nas distâncias atuais, corrigindo o valor de quilómetros tendo em conta as localizações potenciais dos CD.

CD	Aveiro	Beja	Braga	Bragança	C. Branco	Coimbra	Évora	Faro	Guarda
Aveiro NOVO	38	390	131	331	227	68	312	512	190
Braga NOVO	121	502	12	230	329	170	424	624	263
Coimbra NOVO	58	332	170	312	159	10	254	454	168
Lisboa NOVO	250	198	372	512	264	202	156	305	370
Porto NOVO	63	444	48	248	271	112	366	566	213
Santarém NOVO	192	202	314	456	181	144	124	306	287
Setúbal NOVO	294	142	416	558	265	246	103	249	371

CD	Leiria	Lisboa	Portalegre	Porto	Santarém	Setúbal	V. Castelo	Vila Real	Viseu
Aveiro NOVO	125	254	307	78	195	304	152	194	105
Braga NOVO	237	366	409	53	307	416	48	106	186
Coimbra NOVO	67	196	239	117	137	246	193	206	96
Lisboa NOVO	135	42	237	319	84	56	395	408	298
Porto NOVO	179	308	351	26	249	358	66	111	128
Santarém NOVO	77	85	161	261	22	128	337	350	240
Setúbal NOVO	179	50	193	363	121	15	410	452	342

Tabela 17 - Distância quilómetro dos CD para os mercados

Na hipótese 3 foram considerados os mesmos valores de custo por quilómetro que na hipótese 1 e 2.

6.3 – Construção do Modelo utilizando o *MS Excel*

A modelação vai ser realizada no *MS Excel* e a solução será obtida através do suplemento *Solver*.

O *Solver* faz parte de um pacote de ferramentas chamado “*what-if tools*” que permite resolver problemas de otimização lineares, não lineares e de programação inteira.

O *Solver* permite encontrar um valor otimizado para uma fórmula numa célula da folha de cálculo definida como célula de destino (função objetivo). O *Solver* ajusta os valores das células ajustáveis que especificarmos (variáveis de decisão), para produzir um resultado que é especificado na célula de destino.

Podemos aplicar restrições para limitar os valores que o *Solver* pode utilizar no modelo, podendo as restrições fazer referência a outras células que afetem a fórmula da célula de destino.

O *Solver* apresenta uma série de vantagens relativamente a outros “*softwares*”. A sua simplicidade de programação aliada ao facto da maioria dos gestores terem experiência com o *MS Excel*, torna-o muito aliciante para a resolução de problemas de otimização.

Nos dias de hoje é fundamental partilhar informação. O *MS Excel* tem a característica de se poder compreender rapidamente a ideia principal contida numa folha de cálculo bem estruturada e poder trabalhar facilmente a partir dessa base.

O procedimento para utilizar a ferramenta do *Solver* consiste em descrever no *MS Excel* os conjuntos, descrever e obter a informação dos parâmetros necessários, descrever as variáveis a utilizar e descrever as equações.

No modelo em estudo, foram identificados os conjuntos sobre os quais o problema assenta (Fábricas, CD, Mercados).

Seguidamente, temos os parâmetros que são apresentados sob a forma de tabelas onde a informação é organizada por linhas e colunas. No modelo em estudo, os parâmetros correspondem a toda a informação relativa aos custos de transporte, distâncias em quilómetros às fábricas e mercados, capacidade em toneladas dos CD e custo das instalações.

Posteriormente são introduzidas as variáveis de decisão, que serão interligadas aos conjuntos: Fábricas, CD e Mercados.

Modelação Variáveis

No caso de estudo temos a variável X_{ij}^F que representa os fluxos das fábricas para os CD.

A figura 10, apresenta como é que esta variável foi modelada pelo *MS Excel*.

Fluxo Transporte Fábricas para Centros de Distribuição							
	Azambuja	Carregado	Coimbra	Faro	Gaia 1	Gaia 2	Palmela
Aveiro	0,0	18.973,1	20.000,0	-	-	18.013,8	
Lisboa	-	100.988,0	-	-	-	-	
Porto	-	-	-	-	45.000,0	41.986,2	
Santarém	-	42.987,0	-	-	-	-	
Setúbal	-	42.873,5	-	4.113,5	-	-	
	0,0	205821,6	20000,0	4113,5	45000,0	60000,0	0,0

Figura 10 - Modelação da variável X_{ij}^F pelo *MS Excel*

A variável X_{jl}^D , representa os fluxos dos CD para os mercados.

A figura 11, apresenta como é que esta variável foi modelada pelo *MS Excel*.

Fluxo Centros Distribuição para Mercados										CD 1 = a
Aveiro	Beja	Braga	Bragança	C. Branco	Coimbra	Évora	Faro	Guarda		
Azambuja	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
Carregado	13.364	1.698	-	-	3.811	-	2.759,5	-	-	1
Coimbra	3.589,9	-	-	-	-	10.313,9	-	-	836,6	1
Faro	-	-	-	-	-	-	4.113,5	-	-	1
Gaia 1	-	-	16.887,4	2.499,4	-	-	-	-	-	1
Gaia 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Palmela	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	16.954,1	1.697,7	16.887,4	2.499,4	3.810,9	10.313,9	2.759,5	4.113,5	836,6	

Fluxo Centros Distribuição para Mercados										CD 1 = a
Leiria	Lisboa	Portalegre	Porto	Santarém	Setúbal	V. Castelo	Vila Real	Viseu		
Azambuja	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
Carregado	9.037,8	120.587,9	1.550,8	-	20.464,3	32.548,5	-	-	-	1
Coimbra	-	-	-	224,9	-	-	-	-	5.034,8	1
Faro	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Gaia 1	-	-	-	19.967,5	-	-	3.223,0	2.422,6	-	1
Gaia 2	-	-	-	60.000,0	-	-	-	-	-	1
Palmela	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	9.037,8	120.587,9	1.550,8	80.192,4	20.464,3	32.548,5	3.223,0	2.422,6	5.034,8	

Figura 11 - Modelação da variável X_{ij}^D pelo MS Excel

Na figura 12, temos a modelação das variáveis Y_j , que vão determinar a abertura ou não dos CD.

	CD 1 = a
Azambuja	0
Carregado	1
Coimbra	1
Faro	1
Gaia 1	1
Gaia 2	1
Palmela	-

Figura 12 - Modelação da variável Y_j pelo MS Excel

Modelação restrições:

A capacidade da modelação (ver Figura 13) tem obrigatoriamente que ser inferior ou igual à capacidade das fábricas representada na Tabela 18. Esta restrição pretende assegurar que todos os fluxos de *inbound* para os CD, estão dentro da capacidade de produção das fábricas.

Fábricas	Produção
Aveiro	56.987
Lisboa	100.988
Porto	86.986
Santarém	42.987
Setúbal	46.987

334.935

Tabela 18 - Capacidade das fábricas dada pela variável F_i^F

		Capacidade Utilizada	Excesso de Capacidade
Fábricas	Aveiro	56.986,9	0,1
	Lisboa	100.988	-
	Porto	86.986,2	-
	Santarém	42.987	-
	Setúbal	46.987,0	-
		334935,14	0,1

Figura 13 - Modelação da capacidade de fluxos das fábricas para os CD no MS Excel

A próxima restrição determina que os fluxos de *outbound* dos CD não podem ser superiores à capacidade dos CD. A capacidade dos CD é dada pela tabela 19.

CD	Capacidade
Azambuja	50.000
Carregado	220.000
Coimbra	20.000
Faro	5.000
Gaia 1	45.000
Gaia 2	60.000
Palmela	2.000
TOTAL	402.000

Tabela 19 - Capacidade das fábricas dada pela variável K_j

		Capacidade Utilizada	Excesso de Capacidade
Centros Distribuição	Azambuja	-	50.000,0
	Carregado	205.822	14.178
	Coimbra	20.000,0	-
	Faro	4.113	887
	Gaia 1	45.000,0	-
	Gaia 2	60.000	-
	Palmela	-	2.000,0
		334935,14	67064,9

Figura 14 - Restrição da capacidade de fluxo dos CD para os mercados MS Excel

Outra restrição, conforme informação da figura 15, toda a procura *DI* tem que ser satisfeita. Esta restrição obriga a que a procura que foi determinada inicialmente para cada mercado, seja servida pelos CD que o modelo selecionar, que por sua vez terá que ser igual à procura que foi determinada inicialmente para cada mercado.

	Aveiro	Beja	Braga	Bragança	C. Branco	Coimbra	Évora	Faro	Guarda
Procura Mercados	16.954,1	1.697,7	16.887,4	2.499,4	3.810,9	10.313,9	2.759,5	4.113,5	836,6
	Leiria	Lisboa	Portalegre	Porto	Santarém	Setúbal	V. Castelo	Vila Real	Viseu
Procura Mercados	9.037,8	120.587,9	1.550,8	80.192,4	20.464,3	32.548,5	3.223,0	2.422,6	5.034,8

Figura 15 - Restrição da satisfação da procura

A última restrição (ver Figura 16), que obriga a que as células variáveis Y_j , sejam binárias (0 ou 1), sendo as que são igual a 1, as que vão determinar a abertura dos CD.

	CD 1 = a
Azambuja	0
Carregado	1
Coimbra	1
Faro	1
Gaia 1	1
Gaia 2	1
Palmela	-

Figura 16 - Restrição da célula das variáveis binárias Y_j

Função objetivo:

Esta função é a que a modelação do *MS Excel* pretende minimizar, sendo dada pelo somatório dos custos de instalação dos CD, pelos custos do transporte primário das fábricas para os CD seleccionados pelo modelo e finalmente pelo transporte secundário dos CD seleccionados para os mercados que o modelo irá determinar.

As células que constam no somatório de cada item da função objetivo, ou seja, o custo de instalação, custo do transporte primário e custo do transporte secundário, possuem fórmulas de *Excel* que em função da modelação do *MS Excel* realizado nas células variáveis X_{ij}^F , X_{jl}^D e Y_j , vão permitir o cálculo do custo total da rede de distribuição.

Função Objetivo (1+2+3)	4.094.780 €
1 - Custos Instalação CD	1.891.497 €
2 - Custo Transporte Primário	804.156 €
3 - Custo Transporte Secundário	1.399.126 €

Figura 17 - Função objetivo

A fase seguinte é do carregamento das equações no *Solver*.

O carregamento das equações no *Solver* é realizado acionando o botão *Solver*, onde aparece uma caixa de diálogo.

Passamos a exemplificar com o caso de estudo em concreto, os passos para o carregamento das equações no *Solver*:

Definição da célula de destino:

A primeira caixa contém a célula de destino, onde é especificado a célula que contém a função objetivo que se pretende atingir

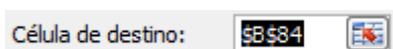


Figura 18 - Célula de destino

Definição da otimização:

A caixa seguinte define o tipo de otimização, maximização, minimização ou atingir um valor específico.



Figura 19 - Tipo de otimização

No caso de estudo o objetivo é minimizar.

Posteriormente é pedido que sejam inseridas as células variáveis que podem ser alteradas pelo Solver até que as restrições contidas no problema sejam satisfeitas.

Definição das células variáveis:

No caso de estudo, as células variáveis são dadas pelas quantidades a transportar desde as fábricas até aos CD e dos CD até aos mercados pela abertura ou não de cada centro de distribuição (células binárias).

É possível definir no *Solver* até 300 células variáveis, sabendo que quanto mais células variáveis forem inseridas, maior será o tempo consumido para encontrar uma solução ótima.

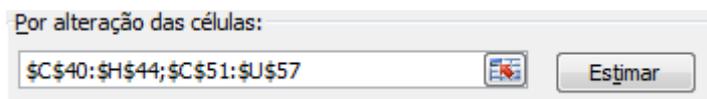


Figura 20 - Seleção das células variáveis

Definição das restrições

Na caixa “restrições” constam normalmente um intervalo de células, que contém fórmulas que dependem de células variáveis, cujos valores é necessário que fiquem dentro de certos limites ou valores.

Estas restrições funcionam com a referência de células relativamente às restrições introduzindo “ \leq ”, “=”, “ \geq ”; “núm” ou “bin”.

No caso de estudo as restrições são dadas pela obrigatoriedade das células variáveis relativas às quantidades em toneladas a transportar das fábricas para os CD e dos CD para os mercados terem que ser ≥ 0 ; que existem limitações de capacidade dos centros de distribuição; etc

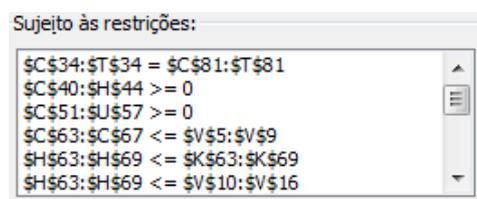


Figura 21 - Seleção das restrições

Opções

O *Solver* possui ainda um conjunto de opções em função do tipo de problema. A caixa de diálogo de opções do *Solver* tem uma configuração padrão que serve para a resolução da maioria dos problemas. No caso de estudo em questão, deverá ser selecionada a opção “Assumir modelo linear” que está mais ajustada a problemas de programação linear e para o *Solver* utilizar o Algoritmo Simplex em vez do algoritmo não linear (Método do Gradiente Reduzido Genérico) que consumirá mais tempo.

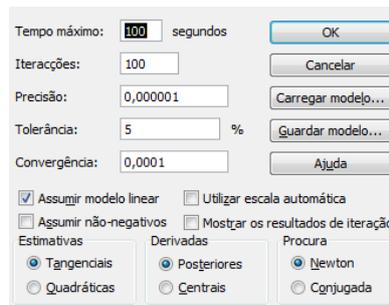


Figura 22 - Opções do Solver

O processo de cálculo envolve sucessivas interações (tentativas). Em cada interação é usado um novo conjunto de células variáveis tendo em conta o objetivo e as restrições.

O processo termina quando a solução ótima é encontrada, ou quando não há possibilidade de prosseguir, ou quando o número de interações ou o tempo determinado tiverem esgotado.

6.4 – Resultados Obtidos

Os resultados serão analisados de acordo com o custo total e parcial das três hipóteses consideradas neste estudo.

Ao correr o modelo do *Solver*, ele vai propor a solução ótima tendo em conta os CD pré-determinados. O *Solver* vai indicar quais os CD que devem ser utilizados tendo em conta o objetivo de minimização, bem como a quantidade que cada um desses CD vai receber das fábricas e que vai expedir para cada mercado.

Este estudo pretende, a nível estratégico, fornecer informação de apoio à decisão sobre a futura rede de distribuição da LS, que se pretende que seja a mais competitiva em termos de custo total.

A primeira hipótese a ser testada é a configuração atual da rede de distribuição da LS.

HIPÓTESE A:

Os resultados obtidos para a variável Y, i.e., quais os CD que devem abrir, estão apresentados nas figuras 23 e 24. Nesta hipótese A, apesar de existirem 7 potenciais localizações para os CD, a solução que minimiza os custos totais utilizando apenas cinco CD: Carregado, Coimbra, Faro, Gaia 1 (Rechousa) e Gaia 2 (S. Caetano).

O mercado Aveiro que deveria ser servido por Gaia ou Coimbra, é servido em grande parte pelo Carregado por falta de capacidade destes 2 CD.

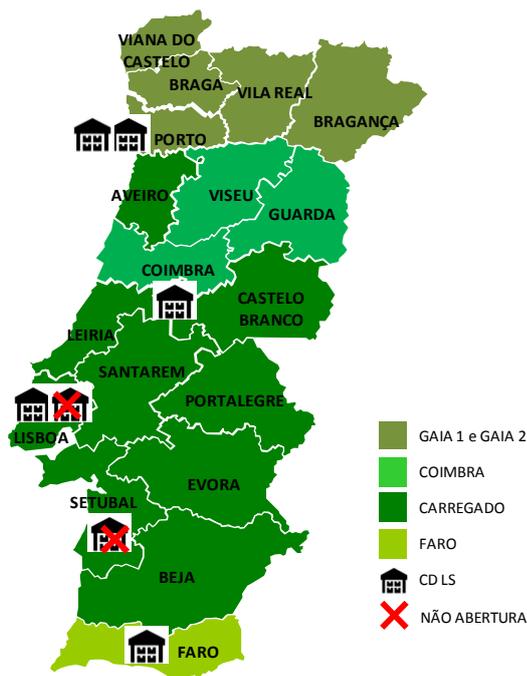


Figura 23 - Modelação do MS Excel hipótese A

Fluxo Centros Distribuição para Mercados										CD
	Aveiro	Beja	Braga	Bragança	C. Branco	Coimbra	Évora	Faro	Guarda	1 = a
Azambuja	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
Carregado	13.364	1.698	-	-	3.811	-	2.759,5	-	-	1
Coimbra	3.589,9	-	-	-	-	10.313,9	-	-	836,6	1
Faro	-	-	-	-	-	-	-	4.113,5	-	1
Gaia 1	-	-	16.887,4	2.499,4	-	-	-	-	-	1
Gaia 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Palmela	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	16.954,1	1.697,7	16.887,4	2.499,4	3.810,9	10.313,9	2.759,5	4.113,5	836,6	

Fluxo Centros Distribuição para Mercados										CD
	Leiria	Lisboa	Portalegre	Porto	Santarém	Setúbal	V. Castelo	Vila Real	Viseu	1 = a
Azambuja	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
Carregado	9.037,8	120.587,9	1.550,8	-	20.464,3	32.548,5	-	-	-	1
Coimbra	-	-	-	224,9	-	-	-	-	5.034,8	1
Faro	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Gaia 1	-	-	-	19.967,5	-	-	3.223,0	2.422,6	-	1
Gaia 2	-	-	-	60.000,0	-	-	-	-	-	1
Palmela	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	9.037,8	120.587,9	1.550,8	80.192,4	20.464,3	32.548,5	3.223,0	2.422,6	5.034,8	

Figura 24 - Modelação do fluxo dos CD para os mercados Hipótese A

O CD do Carregado serve os mercados de Aveiro, Beja, Castelo Branco, Évora, Leiria, Lisboa, Portalegre, Santarém e Setúbal. O CD de Coimbra serve os mercados de Aveiro, Coimbra, Guarda e Viseu. O CD de Faro serve o mercado de Faro. O CD Gaia 1 (Rechousa) serve os mercados de Braga, Bragança, Porto, Viana do Castelo e Vila Real. O CD Gaia 2 (S. Caetano), serve o mercado do Porto.

Na figura 25, é possível observar os fluxos de entrada em cada CD provenientes das fábricas. Estas vão ser as quantidades que os centros de distribuição vão ter de receber para posteriormente enviarem para o mercado. De uma forma geral todos os fluxos das fábricas se dirigem para os CD mais próximos.

Fluxo Transporte Fábricas para Centros de Distribuição							
	Azambuja	Carregado	Coimbra	Faro	Gaia 1	Gaia 2	Palmela
Aveiro	0,0	18.973,1	20.000,0	-	-	18.013,8	
Lisboa	-	100.988,0	-	-	-	-	
Porto	-	-	-	-	45.000,0	41.986,2	
Santarém	-	42.987,0	-	-	-	-	
Setúbal	-	42.873,5	-	4.113,5	-	-	
	0,0	205821,6	20000,0	4113,5	45000,0	60000,0	0,0

Figura 25 - Modelação das fábricas para os CD pelo MS Excel Hipótese A

Pela figura 25 é possível verificar que toda a capacidade das fábricas foi utilizada.

		Capacidade Utilizada	Excesso de Capacidade
Fábricas	Aveiro	56.986,9	0,1
	Lisboa	100.988	-
	Porto	86.986,2	-
	Santarém	42.987	-
	Setúbal	46.987,0	-
		334935,14	0,1

Figura 26 - Capacidade utilizada e excedente das fábricas após modelação hipótese A

A figura 27, mostra que na hipótese A, no total foram utilizadas 334.935,14 das 402.000 toneladas disponíveis. Dos 5 CD que a modelação decidiu abrir, ficaram por utilizar 14.178 toneladas no CD do Carregado e 887 toneladas no CD de Faro.

		Capacidade Utilizada	Excesso de Capacidade
Centros Distribuição	Azambuja	-	50.000,0
	Carregado	205.822	14.178
	Coimbra	20.000,0	-
	Faro	4.113	887
	Gaia 1	45.000,0	-
	Gaia 2	60.000	-
	Palmela	-	2.000,0
		334935,14	67064,9

Figura 27 - Capacidade utilizada e excedente dos CD após modelação hipótese A

A configuração da Hipótese A, que contempla as localizações atuais dos CD da LS, após modelação apresenta os seguintes resultados:

Custo total de rede = 4.094.780€.

Custos de instalação = 1.891.497€

Transporte primário = 804.156€ (das fábricas para os CD)

Transporte secundário = 1.399.126€ (do CD para os mercados)

HIPÓTESE B:

Os CD que devem abrir, estão apresentados na figura 28 e 29. Nesta hipótese B, existiam 6 potenciais localizações para os CD (Azambuja; Carregado; NOVO SUL; Gaia 1; Gaia 2; NOVO NORTE). Na figura 28 pode-se verificar que a modelação do *MS Excel* determinou a abertura apenas dos CD NOVO NORTE e NOVO SUL. O NOVO NORTE cobre toda a zona norte até Coimbra e Castelo Branco inclusive e o NOVO SUL cobre toda a zona sul abaixo de Coimbra e Castelo Branco.

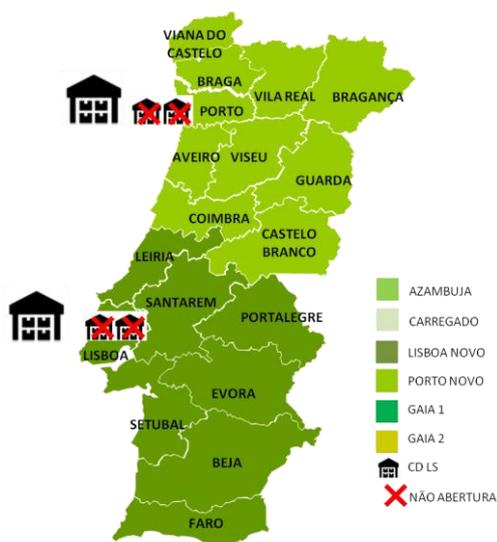


Figura 28 - Modelação do MS Excel B

Fluxo Centros Distribuição para Mercados										CD
	Aveiro	Beja	Braga	Bragança	C. Branco	Coimbra	Évora	Faro	Guarda	1 = a
NOVO SUL	-	1.697,7	-	-	-	-	2.759,5	4.113,5	-	1
Carregado	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
Azambuja	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
NOVO NORTE	16.954,1	-	16.887,4	2.499,4	3.810,9	10.313,9	-	-	836,6	1
Gaia 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gaia 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	16.954,1	1.697,7	16.887,4	2.499,4	3.810,9	10.313,9	2.759,5	4.113,5	836,6	

Fluxo Centros Distribuição para Mercados										CD
	Leiria	Lisboa	Portalegre	Porto	Santarém	Setúbal	V. Castelo	Vila Real	Viseu	1 = a
NOVO SUL	7.239,8	120.587,9	1.550,8	-	20.464,3	32.548,5	-	-	-	1
Carregado	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
Azambuja	-	0,0	-	-	-	-	-	-	-	0
NOVO NORTE	1.798,0	-	-	80.192,4	-	-	3.223,0	2.422,6	5.034,8	1
Gaia 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gaia 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	9.037,8	120.587,9	1.550,8	80.192,4	20.464,3	32.548,5	3.223,0	2.422,6	5.034,8	

Figura 29 - Fluxo dos CD para os mercados após modelação MS Excel hipótese B

Na figura 30, é possível observar os fluxos de entrada em cada CD provenientes das fábricas. Na hipótese B apenas dois CD recebem fluxos das fábricas. O NOVO SUL recebe 190.962 toneladas e o NOVO NORTE recebe 143.973 toneladas.

Fluxo Transporte Fábricas para Centros de Distribuição							
	NOVO SUL	Carregado	Azambuja	NOVO NORTE	Gaia 1	Gaia 2	
Aveiro	-	-	-	56.986,9	-	-	
Lisboa	100.988,0	-	-	-	-	-	
Porto	-	-	-	86.986,2	-	-	
Santarém	42.987,0	0,0	-	-	-	-	
Setúbal	46.987,0	-	-	-	-	-	
	190962,0	0,0	0,0	143973,1	0,0	0,0	

Figura 30 - Fluxo das fábricas para os CD na hipótese B

Toda a capacidade das fábricas foi utilizada à semelhança da hipótese A.

A figura 31 mostra que na hipótese B, no total foram utilizadas 334.935,14 das 414.000 toneladas disponíveis. Na mesma figura é também possível ver os fluxos de entrada das fábricas para cada CD. No centro NOVO SUL existe um excedente de capacidade de 79.038 toneladas, o que quer dizer que ou existe negócio para encher este espaço, ou o CD NOVO SUL pode ter dimensões mais reduzidas e assim ter um custo de instalação inferior. O CD NOVO NORTE está no limite da capacidade, i.e. se aumenta a atividade este CD NOVO NORTE não vai conseguir por si só fazer face a esse aumento.

		Capacidade Utilizada	Excesso de Capacidade
Centros Distribuição	NOVO SUL	190.962,0	79.038,0
	Carregado	-	220.000
	Azambuja	0,0	50.000,0
	NOVO NORTE	143.973	27
	Gaia 1	-	45.000,0
	Gaia 2	-	60.000
		-	-
		334935,14	454064,9

Figura 31 - Capacidade utilizada e excedente dos CD na hipótese B

A configuração da Hipótese B, que contempla 4 CD já existentes (Azambuja, Carregado, Gaia 1 e Gaia2) e 2 CD NOVO NORTE e NOVO SUL, após modelação, apresenta os seguintes resultados:

Custo total da rede = 3.826.376€

Custos de instalação = 1.695.699€

Transporte primário = 652.463€ (das fábricas para os CD)

Transporte secundário = 1.478.214€ (dos CD para os mercados).

HIPÓTESE C

Na hipótese C, são propostos sete novos CD localizados nos distritos Aveiro, Braga, Coimbra, Lisboa, Porto, Santarém e Setúbal.

Na figura 32 e 33 pode-se verificar que a modelação do *MS Excel* determinou a abertura dos CD de Aveiro, Braga, Coimbra, Lisboa, Porto e Santarém. O CD de Aveiro, vai servir o mercado de Aveiro. O CD de Braga, vai servir o mercado de Braga, Bragança, Viana do Castelo e Vila Real. O CD de Coimbra, vai servir o mercado de Castelo Branco, Coimbra, Guarda e Viseu. O CD de Lisboa, vai servir o mercado de Lisboa, Beja, Faro e Setúbal. O CD do Porto vai servir o mercado do Porto. O CD de Santarém, vai servir os mercados de Beja, Évora, Faro, Leiria, Lisboa, Portalegre e Santarém.

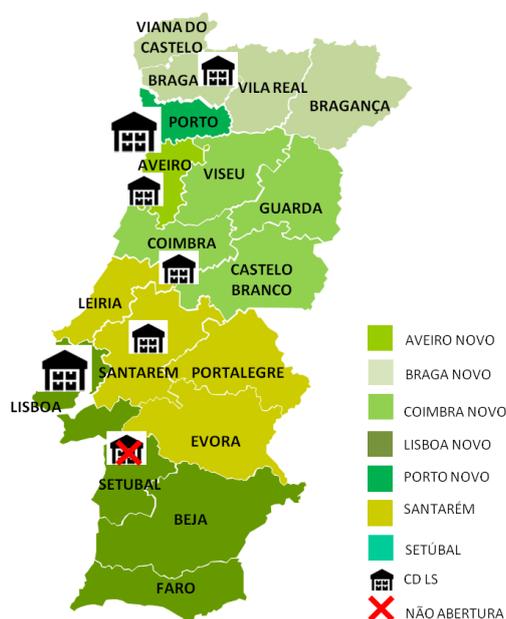


Figura 32 - Modelação do MS Excel hipótese C

	Fluxo Centros Distribuição para Mercados									CD 1 = a
	Aveiro	Beja	Braga	Bragança	C. Branco	Coimbra	Évora	Faro	Guarda	
Aveiro NOVO	16.954,1	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Braga NOVO	-	-	16.887	2.499	-	-	-	-	-	1
Coimbra NOVO	-	-	-	-	3.810,9	10.313,9	-	-	836,6	1
Lisboa NOVO	-	1.697,7	-	-	-	-	-	4.113,5	-	1
Porto NOVO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Santarém NOVO	-	-	-	-	-	-	2.759,5	-	-	1
Setúbal NOVO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	16.954,1	1.697,7	16.887,4	2.499,4	3.810,9	10.313,9	2.759,5	4.113,5	836,6	

	Fluxo Centros Distribuição para Mercados									CD 1 = a
	Leiria	Lisboa	Portalegre	Porto	Santarém	Setúbal	V. Castelo	Vila Real	Viseu	
Aveiro NOVO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Braga NOVO	-	-	-	-	-	-	3.223,0	2.422,6	-	1
Coimbra NOVO	3.812,4	-	-	-	-	-	-	-	5.034,8	1
Lisboa NOVO	-	120.587,9	-	-	-	32.548,5	-	-	-	1
Porto NOVO	-	-	-	80.192,4	-	-	-	-	-	1
Santarém NOVO	5.225,4	-	1.550,8	-	20.464,3	-	-	-	-	1
Setúbal NOVO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	9.037,8	120.587,9	1.550,8	80.192,4	20.464,3	32.548,5	3.223,0	2.422,6	5.034,8	

Figura 33 - Fluxo modelado pelo MS Excel dos CD para os mercados na hipótese C

Na figura 34, é possível observar os fluxos de entrada em cada CD provenientes das fábricas. Na hipótese C todos os centros recebem fluxos de entrada com exceção de Setúbal pelo modelo ter decidido pela não abertura desse CD.

Fluxo Transporte Fábricas para Centros de Distribuição							
	Aveiro NOVO	Braga NOVO	Coimbra NOVO	Lisboa NOVO	Porto NOVO	Santarém NOVO	Setúbal NOVO
Aveiro	16.954,1	-	21.794,2	-	18.238,7	-	-
Lisboa	-	-	-	100.988,0	-	-	-
Porto	-	25.032,5	-	-	61.953,7	-	-
Santarém	-	-	2.014,3	10.972,5	-	30.000,0	-
Setúbal	-	-	-	46.987,0	-	-	-
	16954,1	25032,5	23808,5	158947,5	80192,4	30000,0	0,0

Figura 34 - Fluxo das fábricas para os CD na hipótese C

Toda a capacidade das fábricas foi utilizada como na hipótese A e B.

A figura 35, mostra que na hipótese C, no total foram utilizadas 334.935,14 das 364.500 toneladas disponíveis.

		Capacidade Utilizada	Excesso de Capacidade
Centros Distribuição	Aveiro NOVO	16.954,1	545,9
	Braga NOVO	25.032	4.968
	Coimbra NOVO	23.808,5	3.191,5
	Lisboa NOVO	158.948	11.052
	Porto NOVO	80.192,4	9.807,6
	Santarém NOVO	30.000	- 0
	Setúbal NOVO	-	30.000,0
		334935,14	59564,9

Figura 35 - Capacidade utilizada e excedente dos CD na hipótese C

A configuração da hipótese C, que contempla 6 CD Novos (Aveiro, Braga, Coimbra, Lisboa, Porto, Santarém e Setúbal), após modelação apresenta os seguintes resultados:

Custo total da rede = 3.971.695€

Custos de instalação = 2.248.750€

Transporte primário = 602.293€ (das Fábricas para os CD)

Transporte secundário = 1.120.652€ (dos CD para os mercados)

CONCLUSÕES HIPÓTESES A,B e C:

O custo global mais baixo foi conseguido pela hipótese B, com um custo total da rede de distribuição de 3.826.376€, seguido pela hipótese C com 3.971.695€ e finalmente a hipótese A com 4.094.780€.

Em termos de custos de instalação, o custo mais baixo é dado pela hipótese B com 1.695.699€, seguido da hipótese A com 1.891.497€, e finalmente a hipótese C que é a que apresenta custos mais elevados com 2.248.750€.

Analisando o transporte primário, a hipótese C é a mais baixa com 602.293€, seguida da hipótese B com 652.463€ e finalmente a hipótese A com 804.156€.

Em termos de transporte secundário, a hipótese C é a que apresente custos mais baixos com 1.120.652€, seguida da hipótese A com 1.399.126€ e finalmente da hipótese B com 1.478.214€.

De acordo com os resultados da modelação do MS Excel, a LS deveria ponderar a hipótese B existindo um *saving* mensal de 268.404€.

6.5 – Análise de Sensibilidade

Tendo em conta que estamos a trabalhar a um nível estratégico, é importante perceber como o modelo do *MS Excel* reage a oscilações na procura por parte dos mercados.

O mês de Maio foi escolhido por ser um mês onde o volume de atividade decorre com maior normalidade refletindo a realidade quase ao longo de todo o ano.

Contudo, existem três meses de verão onde a procura nos mercados fica acima destes níveis. Este fenómeno é explicado por existirem produtos mais expostos aos efeitos da sazonalidade, como é o caso do setor das bebidas que é minimizado em parte pela redução nos fluxos de outros produtos que reagem, neste período do ano, de forma inversa.

Desta forma, será realizada uma nova modelação atendendo ao fator da sazonalidade, sendo escolhida a hipótese B por ter apresentado o custo mais baixo.

Os dados da procura que foram utilizados, foram os relativos ao mês de Julho de 2013 (ver Figura 36).

Fluxo Centros Distribuição para Mercados										CD
	Aveiro	Beja	Braga	Bragança	C. Branco	Coimbra	Évora	Faro	Guarda	1 = a
NOVO SUL	-	1.658,1	-	-	4.340,7	-	3.562,4	7.675,4	-	1
Carregado	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Azambuja	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
NOVO NORTE	29.763,7	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Gaia 1	-	-	26.256,4	3.296,2	550,8	-	-	-	1.079,7	1
Gaia 2	358,0	-	-	-	-	-	16.345,0	-	-	1
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	30.121,7	1.658,1	26.256,4	3.296,2	4.891,6	16.345,0	3.562,4	7.675,4	1.079,7	

Fluxo Centros Distribuição para Mercados										CD
	Leiria	Lisboa	Portalegre	Porto	Santarém	Setúbal	V. Castelo	Vila Real	Viseu	1 = a
NOVO SUL	11.315,9	135.332,4	1.859,4	-	24.304,4	39.456,1	-	-	-	1
Carregado	-	0,0	-	-	-	-	-	-	-	-
Azambuja	-	0,0	-	-	-	-	-	-	-	0
NOVO NORTE	-	-	-	114.236,3	-	-	-	-	-	1
Gaia 1	-	-	-	-	-	-	5.805,8	6.506,7	1.504,3	1
Gaia 2	-	-	-	-	-	-	-	-	5.832,9	1
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	11.315,9	135.332,4	1.859,4	114.236,3	24.304,4	39.456,1	5.805,8	6.506,7	7.337,2	

Figura 38 - Fluxo modelado pelo MS Excel dos CD para os mercados da hipótese S

Em termos de fábricas, verifica-se o aumento da produção para os CD, com destaque para a produção das fábricas do distrito do Porto e Lisboa.

Fluxo Transporte Fábricas para Centros de Distribuição							
	NOVO SUL	Carregado	Azambuja	NOVO NORTE	Gaia 1	Gaia 2	
Aveiro	-	-	-	-	45.000,0	11.885,0	
Lisboa	138.666,0	-	-	-	-	-	
Porto	-	-	-	144.000,0	-	10.650,8	
Santarém	42.637,7	-	-	-	-	-	
Setúbal	48.201,0	0,0	-	-	-	-	
	229504,7	0,0	0,0	144000,0	45000,0	22535,8	

Figura 39 - Fluxos das fábricas para os CD na hipótese S

A figura 40 mostra que na hipótese S, no total foram utilizadas 441.040 das 519.000 toneladas disponíveis. O CD NOVO SUL apresenta ainda 40.495 toneladas disponíveis e o CD Gaia 2, apresenta ainda 37.464 toneladas disponíveis.

		Capacidade Utilizada	Excesso de Capacidade
Centros Distribuição	NOVO SUL	229.504,8	40.495,2
	Carregado	0	220.000
	Azambuja	0,0	50.000,0
	NOVO NORTE	144.000	0
	Gaia 1	45.000,0	-
	Gaia 2	22.536	37.464
		-	-
		441040,58	347959,4

Figura 40 - Capacidade utilizada e excedente dos CD na hipótese S

Comparando os resultados da modelação do *MS Excel* das hipótese B e S (ver Tabela 19), verifica-se que na presença de sazonalidade, os custos não variam na mesma proporção que a procura.

O aumento da procura no mês de Julho foi de mais 19% relativamente ao mês de Maio, enquanto que o custo total da rede aumentou 24%. Esta situação é explicada pelo aumento do transporte secundário e custos de instalação.

Comparativo Hipótese B/S	Mai-13	Jul-13	Var.
Procura toneladas	334.935	415.089	19%
Capacidade disponível	414.000	519.000	20%
Custo total de rede	3.826.376	5.061.546	24%
Custos de instalação	1.695.699	2.256.308	25%
Transporte primário	652.463	800.036	18%
Transporte secundário	1.478.214	2.005.203	26%

Figura 41 - Comparativo da modelação do MS Excel B e S

A capacidade, em toneladas, do CD NOVO NORTE deverá ser revista de forma a procurar o melhor equilíbrio nos meses de maior sazonalidade. Este equilíbrio deverá refletir o custo logístico mais baixo, que pode ser alcançado pelo aumento da capacidade do CD NOVO NORTE e/ou da solução de aluguer de espaço nessa época.

7 - Proposta de Solução

7.1 Método Estudado

Sendo o objetivo do projeto analisar a rede de distribuição da LS em Portugal Continental com vista a minimizar os custos logísticos da rede de distribuição, foram efetuadas várias simulações com o objetivo de encontrar a melhor configuração da rede de distribuição com base em localizações pré-determinadas, algumas delas existentes na rede de CD atuais, outras novas, de forma a explicar todas as opções que nos pareceram as mais viáveis.

Uma vez que o objetivo da LS é reduzir os custos totais da rede de distribuição, de acordo com os resultados, a rede futura de distribuição da LS deverá passar pela centralização em apenas dois CD de maior capacidade, localizados, um a norte no distrito do Porto e outro a sul no distrito de Lisboa.

Com a redução do número de CD, reduzem-se os custos com instalação através de economias de escala nas instalações, recursos humanos, custos de inventário, etc.

A localização dos CD, como já foi dito anteriormente, é um problema da mais elevada importância, merecendo toda a atenção que lhe é dada quer por profissionais do setor, quer por investigadores.

7.1.1 Aplicação da Modelação do *MS Excel*

De uma forma geral os estudos de localização aplicados à localização de CD, procuram minimizar os custos logísticos ou maximizar os lucros de acordo com determinados níveis de serviço.

O *MS Excel* através do suplemento *Solver* possibilita realizar estas otimizações.

Para utilização desta ferramenta de otimização, é necessário recolher um conjunto de dados de forma a ser possível estruturar toda a informação para que seja possível a modelação do *MS Excel*.

Tratando-se de um modelo discreto, é necessário começar por determinar quais vão ser as localizações de CD que pretendemos analisar.

Com base nas localizações determinadas para os CD, é necessário recolher um conjunto de informação relativa aos mesmos, como seja, os custos de instalação, as distâncias das fábricas aos CD e dos CD aos mercados e os custos de transporte que lhe estão associados.

A informação utilizada no modelo foi fornecida pela LS, com exceção dos custos de instalação das novas localizações, que foram obtidos através de informação publicada por empresas especializada e dos quilómetros que foram calculados através do *Google Earth*.

O estudo tem como principal objetivo determinar as localizações dos futuros CD da LS de forma a permitir reduzir o custo total da rede e assim resolver alguns problemas relacionados com ineficiências geradas, como por exemplo, pela repartição dos inventários por vários CD. Para o estudo em questão, apenas foi tido em conta a procura dos meses de Maio de 2013, como exemplo de um mês de atividade normal e o mês de Julho de 2013, procurando refletir os efeitos fortes da sazonalidade.

Como foi demonstrado, no ponto anterior, com base nas toneladas movimentadas das fábricas para os CD e dos CD para os mercados, a LS deve considerar a abertura ou ampliação dos CD que possui nos distritos de Lisboa e Porto, de forma a permitir economias de escala resultantes dessa centralização. Nos mercados em que estejam em causa os níveis de serviço, devem ser estudadas parcerias com plataformas regionais subcontratadas.

Aplicando a modelação do *MS Excel*, as localizações dos CD da LS devem ser as seguintes:

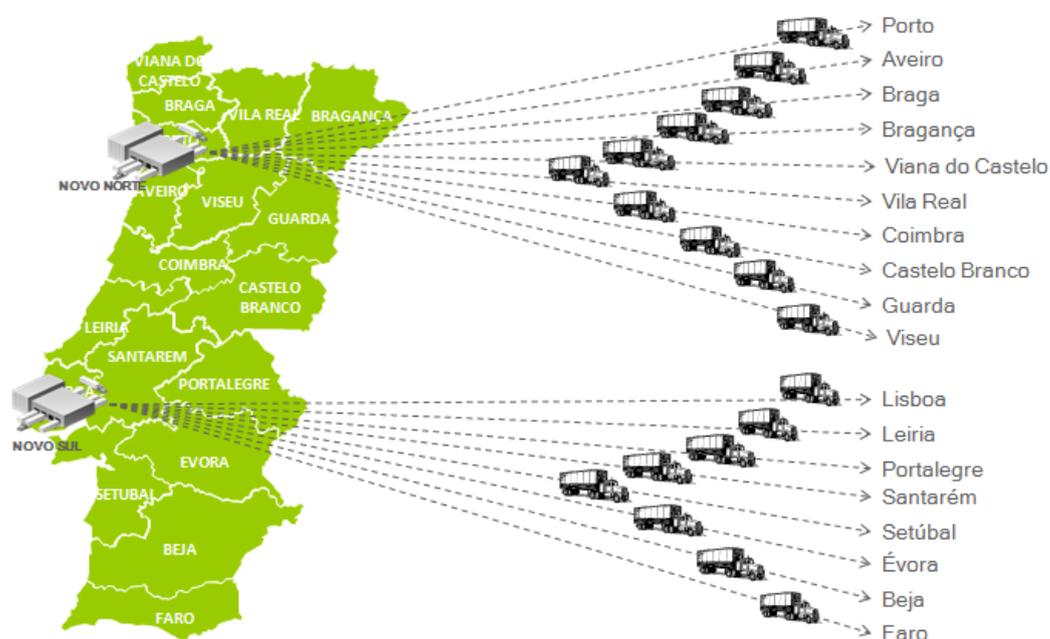


Figura 42 - Localização dos CD dada pelo MS Excel.

O CD localizado no distrito do Porto, servirá preferencialmente os mercados de Viana do Castelo, Braga, Vila Real, Bragança, Aveiro, Viseu, Guarda, Coimbra e Castelo Branco. O CD localizado no distrito de Lisboa, servirá preferencialmente os mercados de Leiria, Santarém, Portalegre, Lisboa, Setúbal, Évora, Beja e Faro.

Com base nesta solução, existiria um *saving* de 268.404€ no mês de Maio de 2013. Além deste *saving* que é direto, existem outros que não foram calculados mas que importa referir. A nível do transporte primário e secundário, ao centralizar toda a operação em apenas dois CD, permite reduzir significativamente o número de pontos de descarga e de carga. Este efeito traduz-se na eliminação de custos atuais com deslocações entre CD ou custos de transferências de mercadoria entre CD.

7.2 - Limitações à Solução

Apesar do modelo escolhido dar resposta ao problema apresentado através do cálculo de uma solução ótima de acordo com *inputs* que foram inseridos, é importante frisar que o mesmo apresenta algumas limitações.

A principal limitação encontrada é que sendo o modelo discreto, a modelação irá assentar em localizações pré-determinadas escolhidas pelo utilizador. Estas localizações pré-determinadas podem não ser as que melhores resultados podem apresentar para o problema em questão. Neste caso, foram consideradas três hipóteses que nos pareceram mais viáveis de forma a mitigar esse risco.

Outra das limitações prende-se com o número de variáveis que podem ser utilizadas. Na versão disponível no *MS Excel*, apenas podem ser resolvidos problemas até duzentas variáveis de decisão, com restrições implícitas e quatrocentas restrições simples. No caso de estudo foram utilizadas 168 variáveis de decisão, não sendo possível considerar mais de sete localizações diferentes por simulação.

Para cálculo das distâncias foi utilizado o *Google Earth*. Apesar do mesmo apresentar em algumas situações diferenças nos quilómetros face ao real podendo originar alguns erros, acreditamos que estes têm muito pouco significado para o projeto em questão, pelo que, esta fonte serve perfeitamente o objetivo.

Relativamente à fiabilidade dos dados fornecidos pela LS, como já foi dito, os valores fornecidos não são os reais, sendo apenas indicativos. Esta situação pode levar a que a solução apresentada não corresponda 100% à realidade. Independentemente disso, é possível retirar conclusões bastante relevantes sobre a rede de distribuição da LS, podendo em qualquer momento serem introduzidos os valores reais, não invalidando de forma alguma o funcionamento ou fiabilidade da solução apresentada pela modelação do *MS Excel*.

Ainda assim, apesar destas limitações, é possível concluir que a solução apresentada pela modelação do *MS Excel*, apresenta ganhos bastante expressivos relativamente à rede de distribuição atual e por esse motivo deverá ser levada em conta pela LS.

8 - Conclusões

O objetivo deste estudo é otimizar a rede de distribuição da LS em Portugal Continental.

Ao conseguir otimizar a rede de distribuição atual, estamos a diminuir os custos logísticos sem sacrificar a qualidade do serviço da LS.

O modelo proposto foi desenvolvido a partir da análise de alguns artigos, referidos na revisão bibliográfica.

A partir de um conjunto de variáveis que interferem no custo logístico, foi construído um modelo, que se pretendeu ser o mais ajustado à realidade da LS.

Com base nos valores de otimização obtidos através da modelação do *MS Excel*, a poupança mensal é de aproximadamente 268.404€, que será o equivalente a três milhões de euros por ano.

Pelos montantes envolvidos, este tema merece atenção imediata e mudanças rápidas por parte da LS.

O modelo proposto é um modelo de programação linear que permite chegar a soluções ótimas com base na informação que é introduzida.

O facto deste modelo ser discreto e ao serem propostas as localizações dos CD que nos parecem que fazem mais sentido no estabelecimento de hipóteses, não o torna de forma nenhuma menos válido no suporte a decisões estratégicas como seja a da localização de CD.

Para finalizar, afirmamos que o modelo atingiu todos os objetivos propostos, podendo ser facilmente transposto para outro tipo de aplicações que sejam semelhantes.

O passado da logística ficou marcado por “Regras de Ouro” e “*Best Practices*” em termos de atuação, criadas por profissionais experientes e conhecedores.

Nos dias de hoje, com os avanços dos computadores pessoais e dos *softwares* de otimização, os gestores podem resolver problemas logísticos a vários níveis.

A velocidade com a qual soluções ótimas podem ser obtidas para a maioria dos problemas logísticos, alguns deles de elevada complexidade, trazem assim um maior nível de qualidade e fiabilidade às decisões de maior relevância.

9 - Bibliografia

- Alamur, S.; Kara, B. Y. 2008. Network hub location problems: The state of the art. *European Journal of Operational Research*, 190: 1-21
- Aversa, R., Botter, H.E., Haralambides, R.C., Yoshizaki, H.T.Y., 2005. A mixed integer programming model on the location of a hub port in the east coast of South America. *Maritime economics and logistics*. 7: 1–18.
- Aydin, M. E., Yigit, V. and Fogarty, T. C. 2002. A Parallel simulated annealing implementation for uncapacitated facility location problems. *In book of abstracts of ecco XV conference of the european chapter on combinatorial optimisation*.
- Aykin, T. 1995. Network in policies for hub-and-spoke systems with application to the air transportation system. *Transport Sci*, 29(3): 201-221
- Ballou, R. H. 2004. Location strategy, *Business logistics supply chain management*: 550 – 596. New Jersey: Pearson Education Inc.
- Ballou, R. H. 2004. Organization and control, *Business logistics supply chain management*: 691 – 724. New Jersey: Pearson Education Inc.
- Bartolacci, M. R., LeBlanc, L. J., Kayikci Y. and Grossman, T. A. 2012. Optimization Modeling for Logistics: Options and Implementations. *Journal of business logistics*, 33(2): 118-127
- Biswas, S. and Narahari, Y. 2004. Object oriented modeling and decision support for supply chains. *European journal of operational research*, 153: 704-726
- Campbell, J.F., 1992. Location and allocation for distribution systems with transshipments and transportation economies of scale. *Annals of operations research*. 40: 77–99.
- Campbell, J.F., 1994b. Integer programming formulations of discrete hub location problems. *European journal of operational research*. 72: 387–405.
- Carlsson, D. and Ronnqvist, M. 2005. Supply chain management in forestry – case studies at sodra cell AB. *European journal of operational research*, 163: 589-616.
- Carvalho, J. C. 1996. *Logística*. Lisboa: Edições Silabo Lda.
- Carvalho, J. C. 2004. *Lógica da logística*. Lisboa: Edições Silabo Lda.
- Carvalho, J. C. 2010. Logística e gestão logística. *Logística e gestão da cadeia de abastecimento*. Lisboa. Edições Silabo Lda.
- Cordeau, J.F., Pasin, F. and Solomon, M. M. 2006. An integrated model for logistics network design. *Annals of operations research*, 144: 59-82.

- Ernst, A.T., Krishnamoorthy, M., 1996. Efficient algorithms for the uncapacitated single allocation p-hub median problem. *Location science*. 4 (3): 139–154.
- Ernst, A.T., Krishnamoorthy, M., 1998a. Exact and heuristic algorithms for the uncapacitated multiple allocation p-hub median problem. *European journal of operational research*. 104: 100–112.
- Ernst, A.T., Krishnamoorthy, M., 1998b. An exact solution approach based on shortest-paths for p-hub median problems. *Informs journal on computing*. 10 (2): 149–162.
- Eskigun, E., Uzsoy, R., Preckel, P. V., Beaujon, G., Krishnan, S. and Tew, J. D. 2005. Outbound supply chain network design with mode selection, lead times and capacitated vehicle distribution centers. *European journal of operational research*, 165: 182–206.
- Guedes, A. P. 2010. Gestão da Cadeia de Abastecimento. *Logística e gestão da cadeia de abastecimento*. Lisboa. Edições Silabo Lda.
- Hosage, C. M. and Goodchild, M. F. 1986. Discrete space location-allocation solutions from genetic algorithms. *Annals of operations research*, 6: 35-46.
- Jeong, S.J., Lee, C.G., Bookbinder, J.H., 2007. The European freight railway system as a hub-and-spoke network. *Transportation research part A*. 41 (6): 523–536.
- Kara, B.Y., Tansel, B.C., 2000. On the single-assignment p-hub center problem. *European journal of operational research*. 125: 648–655.
- Kara, B.Y., Tansel, B.C., 2003. The single-assignment hub covering problem: Models and linearizations. *Journal of the operational research society*. 54: 59–64.
- Konings, R., 2005. Hub-and-spoke networks in container-on-barge transport. *Delft university of technology*.
- Kuehn A. and Hamburger M. J. 1963. A heuristic program for locating warehouses. *Management science*, 9: 643-666
- Moura, B. C. 2006. *Logística: conceitos e tendências*. Vila Nova de Famalicão: Centro Atlântico Lda.
- O’Kelly, M.E., 1987. A quadratic integer program for the location of interacting hub facilities. *European journal of operational research*, 32: 393–404.
- O’Kelly, M.E., 1992a. Hub facility location with fixed costs. *Papers in regional science*. 71 (3): 293–306.
- O’Kelly, M.E., Miller, H.J., 1994. The hub network design problem – a review and synthesis. *Journal of transport geography*. 2 (1): 31–40.
- O’Kelly, M.E., Bryan, D., Skorin-Kapov, D., Skorin-Kapov, J., 1996. Hub network design with single and multiple allocation: A computational study. *Location science*. 4 (3): 125–138.

Póvoa, A. 2010. Modelos de decisão na gestão da cadeia de abastecimento. *Logística e gestão da cadeia de abastecimento*. Lisboa. Edições Silabo Lda.

Nickel, S., Schobel, A., Sonneborn, T., 2001. Chapter 1: Hub location problems in urban traffic networks. *Mathematics methods and optimization in transportation systems*.

Skorin-Kapov, D., Skorin-Kapov, J., 1994. On tabu search for the location of interacting hub facilities. *European journal of operational research*. 73: 502–509.

Stank, T. P. and Goldsby, T. 2000. A Framework for transportation decision making in integrated supply chain. *Supply chain management: an international journal*, 5(2): 71-78.

Stock, J. R. and Lambert D. M., 2001. *Strategic Logistics Management*. New York: Mc Graw-Hill.

Timpe, C.H. e Kallrath, J. 2000. Optimal planning in large multi-site production networks. *European journal of operational research*, 126: 422-435

Sites consultados:

<http://biblioteca.iscte.pt/>

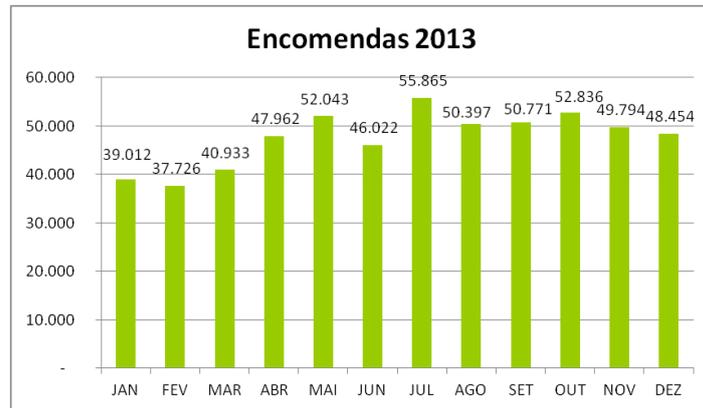
<http://www.google.pt/>

<http://scholar.google.pt/>

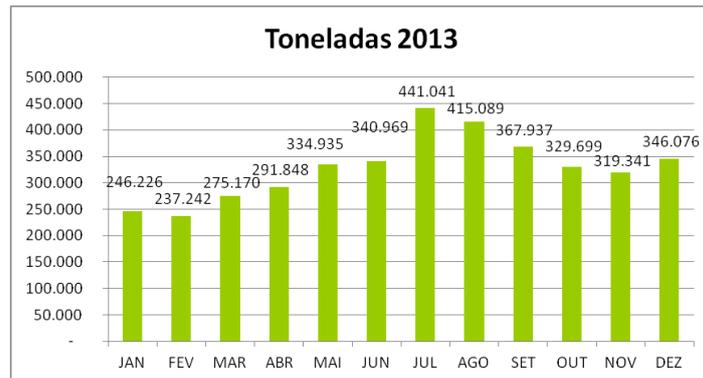
<http://www.luis-simoes.pt/>

<http://office.microsoft.com/en-us/excel-help/about-solver-HP005198368.aspx>

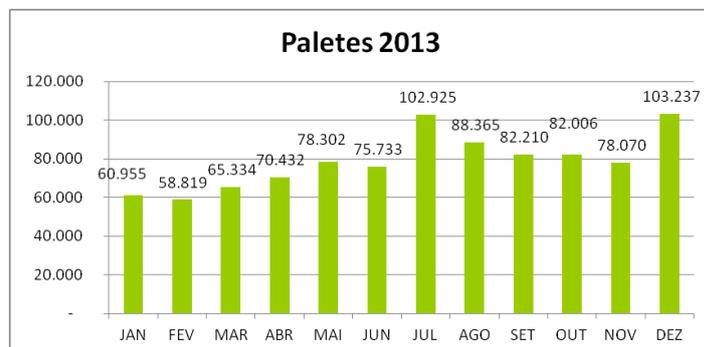
10 – Anexos



Anexo 1 - Encomendas 2013



Anexo 2 - Toneladas 2013



Anexo 3 - Paletes 2013



Anexo 4 - Espaços logísticos Lisboa

Zona	Área Considerada (m ²)	Renda Prime (€/ m ² / mês)	Variação Anual (%)
Carregado - Azambuja	10.000	3,25	-7%
Póvoa St. Iria - Alverca	5.000	3,50	-13%
Loures - Vialonga	1.000	4,00	-11%
Sintra - Cascais	1.000	4,00	0%
Lisboa Cidade	2.000	5,00	-9%
Montijo - Alcochete	5.000	3,50	0%
Palmela - Setúbal	5.000	3,00	0%

Fonte: CBRE

Anexo 5 - Valor de renda m2 grande Lisboa

Apesar da promoção especulativa ser inexpressiva ao longo dos últimos anos, as taxas de disponibilidade continuam altas. A elevada oferta de espaços vagos no eixo Póvoa Sta. Iria – Alverca resultou numa redução de 7% do valor da renda nesta localização no primeiro semestre do ano para 3.25€/m²/ mês. Em oposição, a oferta continua reduzida na zona de Loures-Vialonga.

O valor da renda prime de espaços de logística (com cerca de 10.000 m²) mantém-se nos 3,25€/m²/ mês de há um ano para cá.

Grande Porto

O stock de armazéns e logística do Grande Porto está concentrado em 4 zonas: Matosinhos e Perafita, Aeroporto, Zona Industrial da Maia e Vila Nova de Gaia.

No Grande Porto foi registada uma ocupação bruta de 24.000m² no período em análise, um valor que triplica a área ocupada no semestre anterior mas reflete metade da absorção do período homólogo. A nave logística de 20.000m² atualmente em construção na Plataforma Logística de Leixões já tem a ocupação assegurada pela empresa de logística Luís Simões.

O valor da renda prime de espaços de logística mantém-se também nos 3,25€/m²/ mês.

Anexo 6 - Valor de renda m2 grande Porto