

UM PARADIGMA DISRUPTIVO NO TRANSPORTE
RODOVIÁRIO DE LONGO CURSO:
O USO DE *RELAY POINTS*

Luís Miguel Farinha da Silva Alves

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Gestão de Serviços e da Tecnologia

Orientadora:

Prof.^a Doutora Tânia Rodrigues Pereira Ramos, Prof.^a Auxiliar, Departamento de
Engenharia e Gestão, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa

outubro 2016

Resumo

Desde a década de 90 que a reduzida retenção dos condutores de longo curso se assume como uma preocupação das empresas que lidam com transporte rodoviário de carga completa. As longas jornadas de trabalho dos condutores, pernoitando dias consecutivos “em estrada”, constituem o principal catalisador para o elevado *turnover*.

Face ao problema exposto, uma abordagem disruptiva tem emergido na academia, introduzindo o conceito de *relay points*: pontos na rede onde os condutores trocam os reboques entre si. A “partilha” da mercadoria entre condutores evita percorrerem longas distâncias, possibilitando regressos frequentes ao domicílio e, subjacentemente, uma maior qualidade de vida.

O presente estudo visa propor um modelo de apoio a decisões estratégicas para a implementação de redes baseadas em *relay points*, descrevendo algoritmos para a localização destes pontos e critérios para a expedição das mercadorias. Aplicou-se o modelo desenvolvido a um caso real, permitindo comparar a sua viabilidade com o atual sistema de operação do transportador.

Os resultados obtidos permitem evidenciar importantes benefícios para os *stakeholders* envolvidos. No cenário mais favorável, poderão ser evitadas anualmente mais de 14.500 dormidas “em estrada”, sendo que 74% da mercadoria será expedida através de *relay points*, e geradas, nesta via, poupanças anuais na ordem dos 175.000€ para a empresa.

Neste sentido, o modelo desenvolvido atua ao nível da sustentabilidade social (ótica dos condutores) e permite reduzir custos de operação às empresas, sem comprometer, porém, os prazos de entrega com o cliente. Assim, os *stakeholders* envolvidos beneficiam com a implementação de redes baseadas em *relay points*.

Palavras-chave: carga completa, *relay points*, retenção de condutores, expedição híbrida

JEL Classification System:

Y40 – Dissertation

R410 – Transportation: Demand, Supply, and Congestion; Travel Time; Safety and Accidents

Abstract

Since the 90's, the low retention of long haul drivers is a concern to the companies that deal with truckload road transport. The long working hours of truck drivers and sleeping consecutive days "on the road" are the main catalyst for high turnover.

In view of the above, a disruptive approach has emerged, introducing the concept of relay points: points on the network where drivers swap trailers together. The "sharing" of freights between drivers avoids travelling long distances, enabling the drivers to frequently return home and consequently provides a higher quality of life.

This study aims to propose a model to support strategic decisions for the implementation of network-based relay points, describing algorithms for the location of these points and criteria for the dispatching of freights. The model was applied to a real situation, allowing a comparison of its feasibility on the current carrier's operation system.

The results obtained show important benefits for the stakeholders involved. In the most favorable scenario it is possible to avoid, each year, more than 14,500 overnight stays "on the road", and 74% of the carrier's freights will be dispatched through relay points, and this will generate € 175,000 of annual savings to the carrier.

Therefore, the developed model operates at the level of social sustainability (drivers' perspective) and reduces operating costs for businesses, without compromising, however, the delivery time to the customer. Thus, the stakeholders involved benefit from the implementation of network-based relay points.

Keywords: truckload, relay points, drivers' retention, mixed fleet dispatching

JEL Classification System:

Y40 – Dissertation

R410 – Transportation: Demand, Supply, and Congestion; Travel Time; Safety and Accidents

Agradecimentos

Em primeiro lugar, agradeço especialmente à Professora Doutora Tânia Ramos pela orientação e disponibilidade demonstradas, assim como às chamadas de atenção das minhas “ausências prolongadas”.

Ao Eng. Filipe Carvalho, da consultora Wide Scope, por ter fornecido importantes diretrizes para o estudo realizado.

Aos meus amigos de longa data, colegas de curso e de trabalho pelo ânimo e momentos de convívio proporcionados; assim como àqueles que me acompanharam nas madrugadas dedicadas à tese, um especial agradecimento pelo companheirismo.

À minha namorada Inês pelo apoio incondicional ao longo deste percurso.

Por último, e não menos importante, à minha família, especialmente aos meus pais. Ao meu pai, por todo o seu aconselhamento e encorajamento ao longo do meu percurso académico e da minha curta carreira profissional. À minha mãe, por todo o apoio e afeto proporcionados. Aos dois, o meu agradecimento pela compreensão das sucessivas ausências ao jantar.

Índice

1.	Introdução.....	1
1.1.	Enquadramento geral	1
1.2.	Problemática	4
1.3.	Objetivos do trabalho.....	5
1.4.	Estrutura da dissertação	5
2.	Revisão de literatura	7
2.1.1.	O papel do transporte na logística	7
2.2.	Segmentação do transporte rodoviário	8
2.2.1.	Carga fracionada (segmento <i>LTL</i>).....	9
2.2.2.	Carga completa (segmento <i>TL</i>)	11
2.3.	<i>Turnover</i> dos condutores por segmento.....	11
2.4.	Abordagem a redes baseadas em <i>relay points</i>	13
2.5.	Estudos desenvolvidos sobre redes assentes em <i>relay points</i>	15
2.5.1.	Simulador HUBNET	15
2.5.2.	Princípios da localização de <i>relay points</i>	16
2.5.3.	Combinação híbrida de expedições	20
2.6.	Conclusões do capítulo	21
3.	Metodologia.....	23
4.	Modelo proposto para o <i>design</i> de uma rede por <i>relay points</i>	27
4.1.	Pressupostos do modelo.....	27
4.1.1.	Modo de expedição de fretes	27
4.1.2.	Tipos de infraestruturas	28
4.1.3.	Categorias de condutores.....	28
4.2.	Descrição do modelo	29
4.2.1.	Fase I: Análise de procura	30
4.2.2.	Fase II: Criação de <i>pipelines</i>	32

4.2.3.	Fase III: Localização de infraestruturas.....	36
4.2.4.	Fase IV: Dimensionamento da capacidade dos <i>pipelines</i>	42
4.2.5.	Fase V: Análise de viabilidade	44
5.	Aplicação e resultados do modelo	46
5.1.	Apresentação da empresa.....	46
5.2.	Amostra de fretes recolhida	46
5.3.	Cenários de análise	47
5.4.	Considerações de parâmetros do modelo.....	48
5.4.1.	Distâncias ponto-a-ponto	48
5.4.2.	Distância percorrida por turno	48
5.4.3.	Dormidas “em estrada” por frete	50
5.4.4.	Custos unitários	51
5.5.	Resultados obtidos	52
5.5.1.	Fase I: Análise de procura	52
5.5.2.	Cenários de 2 <i>hubs</i>	56
5.5.3.	Cenários de 3 <i>hubs</i>	62
5.6.	Discussão de resultados	67
6.	Conclusão e perspectivas de investigação.....	71
6.1.	Principais conclusões	71
6.2.	Perspetivas de investigação futuras	72
	Bibliografia.....	74
	Anexo A.....	77
	Anexo B.....	78

Índice de figuras

Figura 1-1: Transporte rodoviário de mercadorias em Portugal (milhões de tkm) por classes de quilometragem de viagem, 2010-2014	3
Figura 1-2: Análise dos <i>stakeholders</i> envolvidos.....	3
Figura 1-3: Conceito de <i>relay point</i>	4
Figura 2-1: Rede ponto-a-ponto vs. <i>hub-and-spoke</i>	10
Figura 2-2: Tipos de redes assentes em <i>relay points</i>	20
Figura 2-3: Excesso de circuito através da expedição por <i>relay points</i>	21
Figura 3-1: Abordagem metodológica definida.....	23
Figura 4-1: Fases do modelo desenvolvido	30
Figura 4-2: Descrição da fase I.....	31
Figura 4-3: Exemplo de <i>inputs</i> e <i>outputs</i> da fase I	31
Figura 4-4: Exemplos de <i>pipelines</i> possíveis para 3, 4 e 5 <i>hubs</i>	32
Figura 4-5: Regiões contíguas contempladas pelo algoritmo de criação de <i>pipelines</i> ...	33
Figura 4-6: Exemplo de <i>pipeline</i> criado por via da agregação de 4 ligações	33
Figura 4-7: Efeito do desequilíbrio de fretes entre sentidos da ligação.....	34
Figura 4-8: Exemplo de potencial minimização do <i>load imbalance</i> pela criação de <i>pipelines</i>	34
Figura 4-9: Acréscimo de distância da expedição por <i>pipeline</i> face à expedição ponto-a-ponto	37
Figura 4-10: Esquemática de <i>pipelines</i> por intervalo de <i>DSP</i>	40
Figura 4-11: Alternativas à implementação de 2 <i>IRPs</i> consecutivos	41
Figura 4-12: Processo de seleção de expedição.....	42
Figura 5-1: Base de dados	47
Figura 5-2: <i>DSP</i> e <i>DLL</i> considerados no caso em análise.....	49
Figura 5-3: Determinação do número de dormidas “em estrada” por frete no sistema atual	50
Figura 5-4: Dormidas “em estrada” imputadas aos fretes	51
Figura 5-5: Regiões com procura de fretes.....	53
Figura 5-6: Procura de fretes por região	53
Figura 5-7: Principais fluxos de fretes entre regiões	55
Figura 5-8: Cenários #1 e #2 – Regiões e ligações seleccionadas	56
Figura 5-9: Cenário #2 - Resultados do algoritmo de criação de <i>pipelines</i>	57

Figura 5-10: Cenários #1 e #2 – Localização dos <i>hubs</i> e comprimento de <i>pipelines</i>	58
Figura 5-11: Cenários #1 e #2 – <i>Pipelines</i> com 1 <i>IRP</i>	58
Figura 5-12: Cenários #1 e #2 – Acréscimo de distância (em km) entre expedições.....	59
Figura 5-13: Cenário #1 – Análise da simulação de expedição	60
Figura 5-14: Cenário #2 – Análise da simulação de expedição	60
Figura 5-15: Cenários #3 e #4 – Regiões e ligações selecionadas	62
Figura 5-16: Cenário #4 - Resultados do algoritmo de criação de <i>pipelines</i>	63
Figura 5-17: Cenário #3 – <i>Pipeline</i> A-C	64
Figura 5-18: Cenário #3 – Localização dos <i>hubs</i> e comprimento de <i>pipelines</i>	64
Figura 5-19: Cenário #4 – Localização dos <i>hubs</i> e comprimento de <i>pipelines</i>	65
Figura 5-20: Cenários #3 e #4 – Acréscimo de distância (em km) entre expedições.....	65
Figura 5-21: Resultados do modelo (componente operacional).....	67
Figura 5-22: Resultados do modelo (análise económica e de dormidas “em estrada” evitadas).....	68
Figura 5-23: Resultados anuais previstos	69
Figura 5-24: Variação do resultado diário com o aumento do preço do gásóleo em 15%	69

Índice de tabelas

Tabela 4-1: Categorias de condutores do modelo	29
Tabela 5-1: Cenários considerados.....	47
Tabela 5-2: Rubricas de custos resultantes de dormidas “em estrada”	51
Tabela 5-3: Rubricas do custo por quilómetro percorrido.....	51
Tabela 5-4: Ligações identificadas	54
Tabela 5-5: Coordenadas geográficas das extremidades das ligações	55
Tabela 5-6: Cenários #1 e #2 – Coordenadas geográficas da localização de <i>hubs</i>	57
Tabela 5-7: Cenários #1 e #2 – Resultados do algoritmo de dimensionamento de capacidade	59
Tabela 5-8: Consumos por frete da ligação L43.....	61
Tabela 5-9: Consumos por frete do conjunto de ligações L25, L43 e L45	61
Tabela 5-10: Cenários #1 e #2 – Análise de viabilidade económica.....	62
Tabela 5-11: Cenários #3 e #4 – Coordenadas geográficas da localização de <i>hubs</i>	63
Tabela 5-12: Cenários #3 e #4 – Resultados do algoritmo de dimensionamento de capacidade	65
Tabela 5-13: Cenários #3 e #4 – Dormidas evitadas de fretes expedidos por <i>pipeline</i> ..	66
Tabela 5-14: Cenários #3 e #4 – Análise de viabilidade económica.....	66

1. Introdução

1.1. Enquadramento geral

Mais que nunca, a economia mundial gira hoje em torno do conceito da mobilidade. A movimentação de bens e de pessoas que a massificação dos transportes permitiu, tornou as distâncias “mais curtas” e alterou formas de efetuar comércio e estratégias de negócio, culminando no atual estágio de globalização e interligação das economias.

As tendências atuais de fracionamento dos processos produtivos e de deslocalização das diversas etapas da cadeia de valor por diferentes mercados potenciam necessidades acrescidas de transporte e armazenamento, aportando custos para as empresas, com o consequente reflexo sobre o preço dos bens. Estima-se que a logística (transporte e armazenagem) corresponda entre 10% a 15% do custo de um produto acabado (Associação Empresarial de Portugal, 2012), justificando a crescente necessidade de as empresas procurarem eficiências nas suas cadeias logísticas.

No contexto português, as infraestruturas ferroviárias são ainda incipientes, quando comparadas com outros países europeus, assumindo-se o transporte rodoviário como o principal responsável pela movimentação de bens em Portugal. Em 2014, mais de 60% do transporte de bens foi efetuado por rodovia, correspondendo sensivelmente a 153 milhões de toneladas (Eurostat, 2014).

Contudo, os prestadores de serviços de transporte por rodovia, nos quais se posicionam as empresas de serviços de transporte e as empresas comerciais ou industriais que possuem frota sob a sua gestão para transporte de bens, têm sido alvo de inúmeros entraves à rentabilização da sua operação.

Desde a década de 90 que a reduzida retenção dos condutores se assume como uma das principais preocupações de empresas que lidam com transporte rodoviário de mercadoria de longo curso. A academia tem-se debruçado sobre esta problemática, apontando como principal motivo para o elevado *turnover* as longas jornadas dos condutores fora do seu domicílio, devido ao sistema ponto-a-ponto bastante adotado pelas empresas. Este sistema de operação consiste em movimentar o frete¹ diretamente do ponto de origem ao destino final, alocando tipicamente um único condutor a esta atividade, obrigando, por

¹ Frete: designação do aluguer de um meio de transporte com a finalidade de deslocar pessoas ou bens.

seu turno, os motoristas a conduzirem dias consecutivos, sem retornarem aos seus domicílios.

Concluído o serviço, a empresa procura atribuir um novo frete para a viagem de regresso, de forma a evitar, tanto quanto possível, a deslocação de regresso sem carga. No entanto, a atribuição de nova ordem de serviço nem sempre é imediata, obrigando os condutores a aguardarem, por vezes, dias para iniciarem a viagem de regresso. A “distância em vazio”, *i.e.*, distância percorrida sem carga, é uma das principais métricas de eficiência das empresas, que procuram minimizá-la persistentemente, visto não gerarem quaisquer receitas diretas com a realização do percurso.

Denota-se, nesta medida, um conflito de interesses entre as empresas e os seus condutores: os transportadores procuram sistematicamente minimizar as distâncias percorridas dos veículos em vazio, ao passo que os profissionais procuram regressos mais frequentes ao domicílio, culminando, assim, no elevado *turnover* de condutores.

O *turnover* resulta, por sua vez, em custos assinaláveis para o transportador (associados a novas contratações e formação) e na degradação do nível de serviço, com impacto prejudicial direto noutras indústrias. Ainda que o problema se caracterize pela sua relevância, atualidade e dimensão, escassas medidas têm sido tomadas para o resolver de raiz.

O problema em análise apresenta particular incidência no panorama nacional, perspetivando-se o seu agravamento. Dada a localização periférica de Portugal na Europa, as mercadorias internacionais que são movimentadas por rodovia em Portugal, circulam, em média, 951 km – 5º país da Europa com maior valor (Eurostat, 2014) –, obrigando os condutores a pernoitarem regularmente fora da sua zona de domicílio. Paralelamente, o transporte rodoviário de mercadorias internacional em Portugal registou um aumento acumulado em toneladas movimentadas de 79% entre 2001 e 2010 (INE, 2011), sublinhando a crescente importância do segmento internacional no modo rodoviário e, conseqüentemente, o aumento de procura de condutores para estes serviços. Dados mais recentes, indicam que as viagens com extensões superiores a 500 km e inferiores a 999 km, que obrigam a estadias de condutores fora de “casa”, aumentaram 32%, entre 2010 e 2014, conforme ilustra a Figura 1-1.

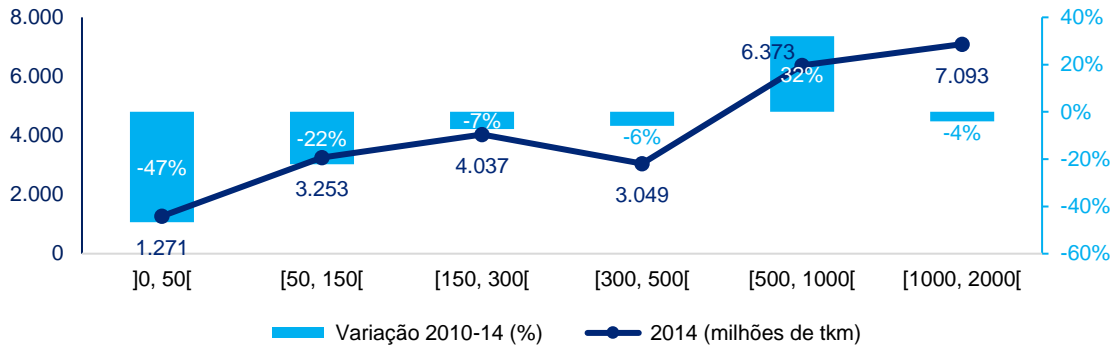


Figura 1-1: Transporte rodoviário de mercadorias em Portugal (milhões de tkm²) por classes de quilometragem de viagem, 2010-2014

Fonte: Eurostat (2014)

O elevado *turnover* de condutores evidencia um modelo operativo desajustado à realidade atual, num setor deficitário em termos de margem de lucro e vinculado à “pressão” dos clientes. Se por um lado, os clientes exigem progressivamente entregas mais céleres a tarifas menores e planeadas com menor antecedência para deslocações cada vez maiores; por outro lado, os transportadores focam a sua operação no curto-prazo, apoiados numa gestão “tradicional” e pouco eficiente, com repercussões na qualidade de vida dos seus condutores.

Neste seguimento, torna-se imperioso fornecer uma solução estruturada e sustentada que responda aos problemas e necessidades dos *stakeholders* que compõem a tríade – empresas, condutores e clientes (Figura 1-2) –, sendo necessário, para tal, repensar criticamente o atual sistema ponto-a-ponto amplamente adotado pelas empresas.

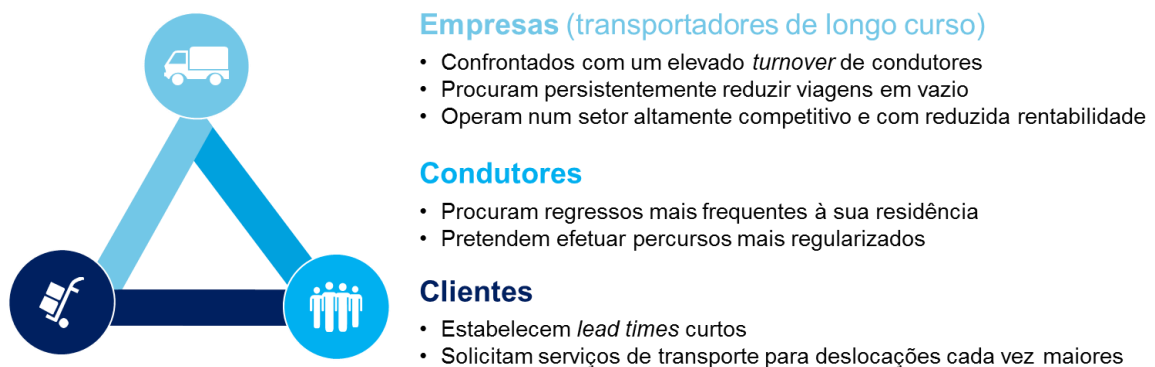


Figura 1-2: Análise dos *stakeholders* envolvidos

² Tkm (tonelada-quilómetro): unidade de medida correspondente à deslocação, por estrada, de uma tonelada de mercadorias, na distância de um quilómetro (fonte: INE).

1.2. Problemática

Uma das abordagens disruptivas face ao atual sistema ponto-a-ponto e que tem despoletado particular atenção prende-se com o uso de *relay points*.

Genericamente, um *relay point* refere-se a um local de transferência de fretes entre condutores. Numa rede baseada em *relay points*, um frete será então movimentado por sucessivos condutores até alcançar o seu destino. Por via de paralelismo, como se tratasse de uma prova de estafetas com a transmissão do testemunho entre corredores. Porém, o condutor ao trocar o reboque no *relay point* inverte o sentido de marcha, retomando o percurso de regresso até à sua origem, possibilitando, nesta medida, regressos mais frequentes ao seu domicílio e, subjacentemente, uma maior qualidade de vida.

A Figura 1-3 ilustra o princípio simplificado do funcionamento de uma rede por *relay points*. Os condutores 1 e 2 trocam de reboques no *relay point*, evitando, desta forma, a deslocação total do condutor 1 entre a origem e o destino do frete A e do condutor 2 entre os pontos do frete B.



Figura 1-3: Conceito de *relay point*

Ainda que o sistema por *relay points* apresente alguns constrangimentos, adiante estudados, permitirá às empresas uma redução do elevado *turnover* de condutores e de custos associados.

Um abrangente leque de estudos tem surgido sobre o tema, fornecendo técnicas para a implementação deste tipo de redes e introduzindo variantes ao conceito original. Identifica-se, porém, ser prática recorrente os estudos considerarem os *relay points* instalações geridas ou detidas pela empresa. Mais se acresce que em situações de empresas com uma procura de fretes bastante dispersa geograficamente, serão necessários inúmeros *relay points*, elevando os custos de implementação deste tipo de redes. Por outro lado, muitos estudos consideram o número de *relay points* a instalar um *output* do modelo

desenvolvido, podendo esse valor nem sempre se adequar à disponibilidade financeira da empresa. Neste sentido, a presente investigação pretende explorar estes *gaps* identificados na literatura, para aumentar a atratividade deste tipo de redes para as empresas, considerando, nesta via:

- (i) A localização de determinados *relay points* na via pública;
- (ii) O número de instalações a implementar como um *input* do modelo a desenvolver;
- (iii) A implementação dos *relay points* em locais estratégicos da rede, de forma a minimizar, tanto quanto possível, dormidas de condutores “em estrada”.

1.3. Objetivos do trabalho

O presente estudo tem como objetivo final o desenvolvimento de um modelo, a nível estratégico, para a conceção de uma rede assente no uso de *relay points*, pretendendo igualmente analisar a viabilidade do modelo na ótica dos *stakeholders* diretamente envolvidos.

Denote-se que o modelo a desenvolver não pretende ser uma alternativa isolada à expedição ponto-a-ponto, mas sim uma conjugação destas duas formas de expedição, para a obtenção de sinergias.

Mais particularmente, como objetivos específicos pretende-se:

- Obter *insights* referentes às abordagens e modelos existentes para o desenvolvimento de redes baseadas em *relay points* e identificar condicionantes deste tipo de expedição, com base num “cruzamento” de raciocínios e indicações fornecidas pela literatura existente;
- Construir um modelo, sustentado por algoritmos, que apoie na tomada de decisão do tipo de expedição mais indicado por frete (ponto-a-ponto ou *relay point*), na localização de *relay points* e no dimensionamento da capacidade da rede de *relay points*;
- Aplicar o modelo desenvolvido a um caso real, possibilitando uma análise de viabilidade entre o sistema atual de operação e o modelo proposto.

1.4. Estrutura da dissertação

A estrutura da presente dissertação é composta por 6 capítulos:

1. Introdução: o presente capítulo contextualiza os principais problemas diagnosticados no transporte rodoviário de mercadorias de longo curso, referenciando-se o uso de *relay points* como possível solução para os desafios colocados, contemplando ainda a descrição dos objetivos da investigação.

2. Revisão de literatura: esta secção aborda o papel do transporte na logística, a segmentação vulgarmente empregada no contexto rodoviário de mercadorias e respetivas configurações de redes utilizadas, e analisa o estado da arte de redes baseadas em *relay points*, sistematizando diferentes abordagens e modelos, de forma a fornecer *insights* para o problema em estudo.

3. Metodologia: nesta etapa, descreve-se o racional delineado para a resolução do problema formulado, bem como os métodos e ferramentas a utilizar.

4. Modelo proposto para o *design* de uma rede por *relay points*: neste capítulo, é descrita a estratégia de resolução do problema, detalhando as diversas fases do modelo desenvolvido e respetivas formulações.

5. Aplicação e resultados do modelo: para aferir a viabilidade do modelo desenvolvido, utilizar-se-á os dados de fretes de um caso real (Luís Simões), que servirão de *inputs* ao modelo, permitindo comparar os resultados do modelo proposto com o atual sistema. Como tal, neste capítulo, são definidos os parâmetros para o modelo, apresentados os resultados obtidos pela aplicação do modelo e discutidos os resultados na ótica dos *stakeholders* envolvidos.

6. Conclusão e perspectivas de investigação: neste capítulo, são apontadas as conclusões do trabalho e considerações sobre possíveis investigações futuras.

2. Revisão de literatura

2.1.1. O papel do transporte na logística

Nos dias de hoje, a logística assume uma importância crucial na economia, ainda que passe despercebida junto de muitos consumidores finais. As tendências atuais de fracionamento dos processos produtivos e de deslocalização das etapas da cadeia de valor por diferentes mercados têm potencializado a criação de sistemas logísticos altamente complexos. Por outro lado, o ciclo de vida cada vez menor dos produtos, aliado à crescente exigência dos clientes em obter os produtos onde lhes é mais conveniente, tem obrigado as empresas a repensarem a sua estratégia logística, encarando-a como um fator crítico de sucesso (Campbell *et al.*, 2005).

O Council of Supply Chain Management Professionals define «Logística ou Gestão Logística como parte da Cadeia de Abastecimento que é responsável por planear, implementar e controlar o eficiente e eficaz 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» (Carvalho, 2010).

No âmbito da evolução dos sistemas logísticos, o transporte desempenha uma das funções mais importantes: assegura a ligação entre os elos da cadeia, proporcionando valor acrescentado através da criação da utilidade de lugar e tempo, movimentando os produtos para o local certo, no momento desejado e nas condições pretendidas. Neste sentido, confere ao produto uma mudança posicional, para que cada trajeto, quando eficiente e devidamente pensado, gere um ganho efetivo de valor (Carvalho, 2010).

De acordo com Alan (2006), o transporte é efetuado, em larga escala, por rodovia, uma vez que oferece inúmeras vantagens quando comparado com os restantes modos de transporte, designadamente, a possibilidade de movimentação porta-a-porta, a flexibilidade das rotas, a elevada fiabilidade e a regularidade dos serviços prestados.

O transporte rodoviário de mercadorias pauta-se pela necessidade de uma elevada performance em termos de eficiência nas suas operações e qualidade do serviço prestado (Crainic, 1997). A liberalização do mercado desencadeou reduzidas barreiras à entrada, criando um mercado altamente competitivo, com a presença de inúmeros *players* e gerando reduzidas margens de lucro (Dobie, 2005). Por seu turno, as condicionantes

impostas pelos clientes em termos de custo, rapidez, alcance geográfico e nível de serviço, num mercado pouco diferenciado, enfatizam ainda mais a necessidade de obtenção de eficiências (Taylor *et al.*, 1999; Taylor & Meinert, 2000).

Contudo, construir cadeias logísticas eficientes e flexíveis, assim como definir os seus processos operacionais é um dos mais complexos desafios inerentes ao setor dos transportes, conforme realça Neves-Moreira *et al.* (2016). São colocados inúmeros desafios no panorama do transporte rodoviário que dificultam uma operação verdadeiramente eficiente. Se por um lado, uma das maiores vantagens é a possibilidade de conexão porta-a-porta, torna-se também numa grande desvantagem dada a significativa dispersão geográfica onde surge a procura, dificultando a gestão eficiente dos recursos. Mais se acresce que os clientes não contratam o serviço com a devida antecedência, obrigando a empresa a adotar uma gestão focada “no imediato” (Taylor *et al.*, 2001).

Nas empresas que lidam com viagens de longo curso, obrigando os seus condutores a permanecerem fora do seu domicílio por vários dias, estas evidências ganham especial enfoque por funcionarem enquanto catalisadores de problemas de maior dimensão, como o elevado *turnover* de condutores, conforme se abordará mais adiante.

2.2. Segmentação do transporte rodoviário

Pode encontrar-se na literatura diversos critérios para a segmentação do transporte de mercadorias por rodovia. Um dos critérios mais usuais subdivide a indústria em transporte privado e público, conforme refere Campbell (2005).

De acordo com o autor, o transporte por conta própria, também designado por transporte privado, é realizado por empresas industriais ou comerciais, cuja finalidade é satisfazer as suas próprias necessidades de abastecimento de matérias-primas e/ou distribuição de produtos acabados. São empresas que optam por gerir a sua própria frota de veículos e equipa de condutores, em alternativa à subcontratação do serviço de transporte.

Por seu turno, o mesmo autor refere que o transporte por conta de outrem, usualmente denominado por transporte profissional, é classificado como uma atividade económica, e traduz-se em empresas especializadas na prestação de serviços de transporte, mediante o pagamento de uma determinada quantia, servindo uma procura geograficamente dispersa.

Outro critério de segmentação também usual e com maior relevância para a investigação em curso subdivide pelo tipo de carga que é movimentado: carga fracionada (em inglês, *less-than-truckload* ou, em abreviado, *LTL*) e carga completa (*truckload* ou *TL*). Üster & Maheshwari (2007) e Melton & Ingalls (2012) forneceram uma explicação detalhada desta segmentação, que será abordada seguidamente e complementada com outros autores.

2.2.1. Carga fracionada (segmento *LTL*)

No segmento *LTL*, o cliente procura enviar uma mercadoria, cujo formato não perfaz a capacidade de um veículo (*e.g.*, uma caixa). Para que o custo do envio não seja demasiado dispendioso, as empresas de transporte que operam neste segmento necessitam de agregar cargas de diferentes clientes (processo de consolidação), com destinos próximos entre si ou que partilhem grande parte do percurso, e transportá-las em conjunto, de modo a obter economias de escala (Liu *et al.*, 2003). Surge, neste contexto, a rede *hub-and-spoke*, na qual a operação destas empresas se baseia.

De acordo com Taha *et al.* (1996) e Martín & Román (2004), as redes *hub-and-spoke* surgiram no contexto da aviação, no seguimento da desregulamentação do transporte aéreo dos EUA, constituindo uma alternativa ao sistema ponto-a-ponto, bastante utilizado até então.

No mercado regulado, o transporte aéreo obedecia a critérios e a restrições político-administrativas, desprezando critérios de racionalidade económica. Uma rede pré-liberalização, totalmente conectada, consistia numa série de pontos origem-destino (os aeroportos) ligados individualmente a cada um dos outros pontos (Figura 2-1, lado esquerdo). Este sistema para funcionar, sem sacrifício da frequência, obrigava à utilização de um enorme número de aeronaves de reduzida e média dimensão. As alternativas seriam deixar de operar algumas rotas e/ou destinos ou sacrificar as frequências, passando a operar cada rota apenas em alguns dias da semana, de forma a libertar as aeronaves para os demais serviços. Este tipo de rede, para além de complexa e pouco eficiente, não proporcionava economias de escala, uma vez que não permitia a concentração da procura que possibilitasse a utilização de aeronaves maiores e mais rentáveis.

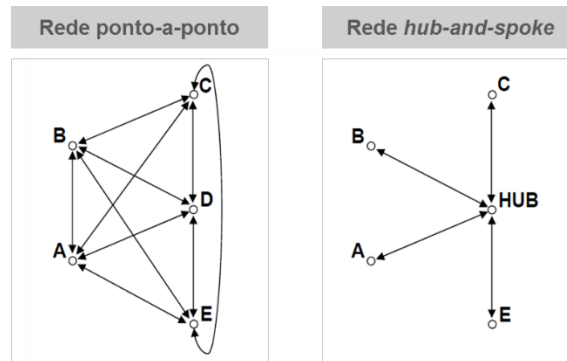


Figura 2-1: Rede ponto-a-ponto vs. *hub-and-spoke*

Após a eliminação dos constrangimentos da regulação, as companhias aéreas tradicionais, que já operavam redes relativamente concentradas por motivos de custo e de alguma conectividade, optaram por concentrar ainda mais as suas operações (Reynolds-Feighan, 2001), adotando um sistema de rede do tipo *hub-and-spoke* (Figura 2-1, lado direito).

O termo *hub-and-spoke* tem a sua origem nos diversos raios (*spokes*) do rodado de uma bicicleta que convergem para o seu ponto central (*hub*). Transpondo o conceito para uma rede com inúmeros pontos, verifica-se que os *hubs* são nós peculiares da rede, localizados de modo a facilitar a conectividade entre locais de interação (O’Kelly & Bryan, 1998), atuando, assim, como pontos de aglomeração e transferência de passageiros/carga.

Extrapolando para a indústria da aviação, o sistema *hub-and-spoke* consiste na centralização do tráfego num aeroporto central denominado por *hub*, de onde se distribui o tráfego para um conjunto de aeroportos secundários (satélites) ou outros *hubs*. Este sistema, ao diminuir o número de ligações na rede, permite o aumento da concentração nas restantes ligações, proporcionando assim economias de escala (O’Kelly, 1998).

Esta configuração de rede apresenta outras vantagens, como sugerem os trabalhos conduzidos por Kanafi & Ghobrial (1985) e Taha *et al.* (1996): manutenção dos voos de longo curso, para os quais a procura é mais dispersa espacialmente; ganho de quota de mercado na região do *hub* dada a elevada oferta de destinos existentes; incremento da frequência entre inúmeras possibilidades origem-destino; e tarifas mais reduzidas para os passageiros. Por seu turno, Wheeler (1989) salientou ainda como vantagem o estabelecimento de conexões (ainda que com escala) que por si só não geram procura suficiente que justifique um voo direto.

De modo análogo à aviação, a proliferação do sistema *hub-and-spoke* ocorreu nas empresas de correio e no segmento *LTL*: diversas cargas provenientes de locais

relativamente próximos são consolidadas em terminais (*hubs*), enviadas posteriormente em veículos de maior capacidade para o *hub* mais próximo do seu destino, para que neste último *hub* se proceda à entrega local até ao destino final (Powell & Sheffi, 1983; Taha *et al.*, 1996; Zäpfel & Wasner, 2002).

Embora este sistema apresente algumas desvantagens, como o acréscimo de tempo decorrente dos transbordos efetuados face ao sistema ponto-a-ponto, permite obter tremendas economias de escala, resultando numa clara redução de custos para a empresa e com reflexo no preço ao cliente.

2.2.2. Carga completa (segmento *TL*)

De acordo com Üster & Maheshwari (2007), enquanto o segmento *LTL* serve desde clientes particulares a grandes empresas, o segmento *TL* ajusta-se a um volume significativo de mercadorias a movimentar entre grandes instalações, como as de fornecedores, unidades fabris ou armazéns, visto perfazerem a capacidade de um veículo.

Neste sentido, o segmento *TL* lida com carga que não exige consolidação, por oposição ao segmento *LTL*. A mercadoria é então transportada desde a origem até ao destino idealmente sobre o caminho mais curto, não passando por sucessivos *hubs*. Este sistema é designado por ponto-a-ponto, sendo alocada à operação de transporte um único veículo, assim como um condutor, tipicamente (Campbell, 2005; Vergara & Root, 2013).

O segmento *TL* permite uma clara vantagem sobre distâncias percorridas face ao segmento *LTL*, uma vez que não se verifica a necessidade da mercadoria efetuar desvios para alcançar os *hubs*. No entanto, após a entrega da mercadoria, o transportador procura atribuir novo serviço para a viagem de regresso do condutor, a fim de evitar viagens do veículo em vazio (Üster & Maheshwari, 2007). Este objetivo da empresa acarreta, porém, a médio-longo prazo problemas acrescidos, conforme abordado na secção seguinte.

2.3. Turnover dos condutores por segmento

O modo de operação ponto-a-ponto do segmento *TL*, conjugado com a minimização de distâncias em vazio, exige aos condutores longas jornadas fora do domicílio. Taha & Taylor (1994) estimaram que os condutores de longo curso despendem tipicamente 14 a 21 dias em viagem até regressarem aos seus domicílios. Se, por si só, a distância de ida e volta e as paragens previstas na lei para descanso geram um longo espaço temporal, após a entrega da mercadoria é necessário encontrar novo frete nas proximidades que tenha

como destino uma localidade próxima da zona de domicílio do condutor, de modo a que o veículo não regresse à sua origem sem carga. Üster & Maheshwari (2007) e mais recentemente Vergara & Root (2013) apontaram este “conflito de interesses” entre o transportador, que procura minimizar as distâncias percorridas em vazio, e os condutores, que pretendem mais estadias no seu domicílio, como o principal *driver* para o elevado *turnover* de condutores.

Diversas investigações, assentes em amostras de inqueridos, debruçaram-se sobre esta problemática, procurando compreender melhor os motivos para o elevado *turnover*, para além do tempo passado “fora de casa”. O estudo de LeMay *et al.* (1993) concluiu existir uma correlação significativamente negativa entre o *turnover* dos condutores e a remuneração por unidade de distância percorrida, assim como uma correlação bastante positiva entre o *turnover* dos profissionais e a distância média percorrida semanalmente.

As precárias condições “em estrada” a que os condutores estão sujeitos, combinadas com a reduzida remuneração aquando comparada com outras profissões e tendo em conta o número de horas de condução (60 a 70 horas por semana), potenciam igualmente o *turnover* (Stephenson & Fox, 1996). Taylor *et al.* (1999) realçou também a qualidade de vida reduzida dos condutores “em estrada”. Por outro lado, Stephenson & Fox (1996) concluíram ainda que o tempo “passado em casa” pelos condutores posiciona-se como um fator crucial para a retenção dos mesmos. Mais recentemente, Griffin *et al.* (2000) *in* Taylor *et al.* (2009) reforçou este fator, aliado à qualidade das rotas que os condutores efetuam.

As consequências do *turnover* são prejudiciais para os transportadores, resultando em elevados custos de contratação, formação e retenção (Melton & Ingalls, 2012) e na degradação do nível de serviço ao cliente (Keller & Ozment, 1999), com impactos económicos negativos noutras indústrias.

Embora o elevado *turnover* seja considerado uma das maiores preocupações para a indústria, Melton & Ingalls (2012) revelaram que um limitado número de empresas tem dado especial importância neste campo. De acordo com Min & Emam (2003), ainda que muitas empresas optem por aumentar a remuneração para reter os condutores, tal medida a longo prazo causa um impacto mínimo na redução do *turnover*.

Contrariamente à situação do segmento *TL*, o *turnover* dos condutores do segmento *LTL* é substancialmente mais reduzido, devido à configuração da rede *hub-and-spoke* em que este segmento se baseia (Campbell, 2005; Taylor *et al.*, 1999).

No segmento *TL*, existem, por norma, dois tipos de condutores: locais, que transportam a carga da origem para o primeiro *hub* e do último *hub* para o destino, e condutores de longo curso, que transportam o frete entre *hubs* (Üster & Maheshwari, 2007). Neste sentido, a mercadoria é partilhada por diversos condutores em diferentes momentos, diminuindo, por conseguinte, a extensão da viagem de cada condutor. Por outro lado, os condutores de longo curso efetuam viagens mais regularizadas (somente entre *hubs*), regressando mais frequentemente aos seus domicílios.

2.4. Abordagem a redes baseadas em *relay points*

As redes *hub-and-spoke* proliferaram na indústria da aviação e no segmento *LTL*, com vista à obtenção de economias de escala, fruto da consolidação de passageiros/carga em *hubs* (Taha *et al.*, 1996). Paralelamente o *turnover* de condutores do segmento *LTL* é substancialmente menor face ao segmento *TL*, visto apoiar-se em redes *hub-and-spoke*, cuja configuração permite aos profissionais regressos ao domicílio frequentes. Os *insights* fornecidos por estas indústrias motivaram Taha & Taylor (1994) a transpor e adaptar o conceito da rede *hub-and-spoke* para o segmento *TL*, como alternativa ao tradicional sistema ponto-a-ponto, introduzindo o conceito de *relay points*.

Embora o segmento *TL* não necessite de consolidação, visto que a carga de uma única origem perfaz a capacidade do veículo, Taha & Taylor (1994) consideraram o uso de terminais, designando-os por *relay points*, para a transferência de reboques entre dois condutores. Os *relay points* comportam-se, deste modo, como pontos de transferência de fretes, sendo estes movimentados entre sucessivos condutores ao longo do seu trajeto, por oposição à expedição ponto-a-ponto.

Estes pontos de transferência envolvem usualmente a implementação de instalações físicas, como sugere Ali *et al.* (2002), acarretando, deste modo, custos de instalação e de manutenção.

De acordo com Melton & Ingalls (2012), devido à “partilha” do reboque em diferentes momentos e ao facto de os condutores inverterem o sentido de marcha nos *relay points*,

permite-lhes efetuar rotas mais regularizadas, regressando com maior frequência ao domicílio, proporcionando, desta forma, uma maior qualidade de vida.

Por outro lado, em condições ideais, o frete circula quase continuamente até alcançar o destino final, proporcionando, nesta via, entregas mais céleres face a um sistema ponto-a-ponto. Apenas “está parado” nos *relay points*, enquanto os condutores trocam os reboques (uma operação que dura poucos minutos, enquanto no sistema ponto-a-ponto o condutor tem que efetuar obrigatoriamente as pausas previstas na lei para descanso).

Existem, contudo, algumas condicionantes para que este tipo de expedição seja uma solução efetiva. Idealmente a distância entre *relay points* deverá cobrir meio turno do condutor, para que, no mesmo turno, efetue a viagem de ida e de regresso e consiga pernoitar no seu domicílio (Neves-Moreira *et al.*, 2016; Taha & Taylor, 1994).

Por outro lado, Campbell (2005) realçou a necessidade existir um equilíbrio bidirecional de fretes a transportar, de forma a minimizar as viagens em vazio. Neste sentido, o condutor quando troca a sua carga num *relay point* deverá receber uma nova carga para a viagem de regresso, a menos que termine o seu turno nesse local. Tal somente é concretizável caso existam cargas a “fluir” em ambas as direções e em volumes consideráveis para diminuir a probabilidade da falta de carga para transportar.

Por sua vez, Neves-Moreira *et al.* (2016) sublinhou a complexidade operacional devido à sincronização de recursos que este tipo de expedição implica. A título exemplificativo, um atraso de um condutor em alcançar o *relay point* programado poderá gerar atrasos na rede, dado que os condutores estão dependentes dos fretes entre eles.

Finalmente, este sistema pressupõe geralmente um aumento da distância percorrida do frete face ao sistema ponto-a-ponto, dado que os *relay points* nem sempre se localizam sobre o “caminho mais curto”, obrigando os fretes a efetuar desvios até os alcançar (Taylor *et al.*, 1999). Contudo, Taha & Taylor (1994) realçaram que o aumento da distância que este tipo de expedição impõe é compensado pela diminuição dos custos associados à redução do *turnover*.

Ainda que as implicações acima mencionadas dificultem a implementação de uma rede baseada em *relay points*, este tipo de expedição pode gerar inúmeras vantagens para os *stakeholders* (condutor, transportador e cliente). Neste sentido, um abrangente leque de

estudos tem surgido sobre o tema, fornecendo técnicas e simulações para a conceção de uma rede assente em *relay points*.

2.5. Estudos desenvolvidos sobre redes assentes em *relay points*

Os problemas estratégicos para a implementação de redes por *relay points* são designados por *TLRND* (do inglês, *truckload relay network design*). Conforme referido, o primeiro estudo que introduziu o uso de *relay points* foi desenvolvido por Taha & Taylor (1994), criando, para tal, o simulador HUBNET.

2.5.1. Simulador HUBNET

Este simulador interativo providencia ferramentas que auxiliam na conceção de uma rede com configuração *hub-and-spoke*, em que os *hubs* funcionam como *relay points*, e, posteriormente, permite simular as operações no segmento *TL*. Os *inputs* referem-se a um histórico ou previsão de fretes.

De acordo com Taha & Taylor (1994) e Taha *et al.* (1996), o HUBNET procura solucionar 3 problemas, essencialmente:

- (i) Localização dos *hubs*;
- (ii) Quais os *hubs* conectados com rotas diretas;
- (iii) Área geográfica de atuação de cada *hub*.

Para a determinação da localização dos *hubs*, Taha & Taylor (1994) consideram oportuno analisar os seguintes fatores: (i) localização de *hubs* em áreas geográficas com forte procura de fretes; (ii) distâncias entre *hubs* deverão ser idênticas e perfazerem múltiplos fracionários ou completos, de modo a maximizar o tempo de condução dos condutores; e (iii) avaliação da implementação dos *hubs* propostos face aos já existentes.

O HUBNET considera 3 tipos de condutores para as operações da rede:

- Locais: responsáveis por entregar e recolher os fretes entre o cliente e o *hub* mais próximo;
- Longo curso: movimentam a carga entre *hubs* apenas;
- Irregulares: continuam a movimentar os fretes não selecionados pela expedição de *relay points*, ou seja, encarregam-se de efetuar o transporte ponto-a-ponto.

De facto, a criação de *relay points* não pretende eliminar a expedição ponto-a-ponto por completo, uma vez que em determinados casos a solução ponto-a-ponto continua a ser efetivamente mais vantajosa.

O HUBNET segmenta a área de atuação em regiões com áreas de 2° de latitude e 2° de longitude, determinando o *load imbalance* para cada região para a formulação da rede. O *load imbalance* é determinado pela diferença entre o total de fretes que entram na região e o somatório de saídas de fretes dessa mesma região.

Os testes preliminares da investigação de Taha & Taylor (1994) permitiram aferir que a duração da viagem dos condutores diminuiu drasticamente (de 18,0 para 1,6-2,0 dias) no caso da empresa estudada (com um histórico de amostra superior a 150.000 fretes). Verificou-se, porém, um aumento da distância em vazio de 3,5% da distância total percorrida (cenário *baseline*) para 13,7-15,0% (cenários criados). Contudo, apontam-se várias limitações ao modelo de simulação criado: não contempla análises de custos e de utilização do equipamento, *hubs* e de condutores.

2.5.2. Princípios da localização de *relay points*

Seguiram-se outros estudos de problemas de *TLRND*, motivados pelos resultados preliminares positivos da investigação de Taha & Taylor (1994), com especial enfoque as contribuições de G. Don Taylor e seus coautores.

O estudo conduzido por Taylor *et al.* (1995) revelou uma metodologia para a localização de *hubs*, com recurso à Programação Linear. A formulação desenvolvida visa alocar para um número pré-definido de *hubs* a localizar, uma ou mais regiões (de entre um número de regiões estabelecido), procurando minimizar o *load imbalance*.

As variáveis da formulação são:

- $X_j = 1$ se o *hub* é atribuído à região j e 0 se o contrário;
- C_j refere-se ao *load imbalance* na região j ;
- $A_{ij} = 1$ se a região i é contígua à região j e 0 se o contrário.

A função objetivo (2.1) minimiza o somatório absoluto do *load imbalance*.

$$\text{Min } Z = \sum_{j=1} |C_j| X_j \quad (2.1)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1} A_{ij} X_j \geq 1 \quad \forall i \quad (2.2)$$

$$\sum_{j=1} X_j = p \quad (2.3)$$

$$X_j = \{0,1\} \quad \forall j \quad (2.4)$$

A restrição (2.2) assegura que cada região possui um *hub* ou que a região adjacente detém um *hub* para a servir também, ao passo que a restrição (2.3) indica o número de *hubs* a implementar.

Por seu turno, Hunt (1998) in Campbell (2005), na sua dissertação de doutoramento, considerou um modelo diferente para conceber redes por *relay points*. Embora não tenha desenvolvido uma formulação matemática, Hunt (1998) descreveu uma metodologia. Primeiramente, considerou estimar os fluxos de fretes a circular sobre o “caminho mais curto” na rede de estradas, como de expedição ponto-a-ponto se tratasse. A segunda etapa passou por localizar os *relay points* na rede de estradas, descrevendo, para tal, o algoritmo de Spring.

O algoritmo de Spring é inspirado nas forças de atração de uma mola esticada e de repulsão de uma mola comprimida. Mais concretamente, dois *hubs* que se situem mais próximos entre si do que a distância mínima permitida será exercida uma força repulsiva, enquanto dois terminais mais distantes do que a distância máxima estipulada experimentarão uma força atrativa. Por outro lado, o algoritmo contempla também a agregação de *hubs* pertencentes a rotas diferentes e relativamente próximos entre si, criando apenas um *hub*.

Os resultados de Hunt (1998) indicaram um ligeiro acréscimo da distância percorrida pelos fretes via *relay points* face ao sistema ponto-a-ponto (25 milhas por frete, na maioria dos casos), permitindo em muitos casos melhorar o tempo de entrega.

Seguiram-se os estudos de Taylor *et al.* (1999) e Taylor *et al.* (2001), introduzindo o conceito de zonas de expedição (na literatura inglesa, *zone dispatching*). Uma rede por zonas de expedição subdivide a área de atuação da empresa em diferentes zonas, sendo que cada condutor está afeto preferencialmente a uma zona apenas. Genericamente, o

condutor movimenta o frete com origem na sua zona até um *hub* localizado na fronteira dessa mesma zona. Aí, troca de frete com outro condutor, recebendo um frete que tenha como destino a sua zona. Esta forma de expedição permite aos condutores trabalharem geograficamente junto do seu domicílio e uma maior familiarização das rotas que efetuam.

Através de uma série de simulações efetuadas, os autores concluíram que este método é promissor, indicando que funciona melhor quando as fronteiras das zonas estão configuradas de modo a minimizar o *load imbalance* entre zonas.

Por seu turno, Ali *et al.* (2002) desenvolveram um conjunto de técnicas, heurísticas e algoritmos para determinar o menor número de *relay points* numa rede viária e para localizar esses pontos, satisfazendo a restrição da duração do turno do condutor. Para tal, propuseram algoritmos com rotas diretas (os fretes circulam pelo “caminho mais curto”, não efetuando quaisquer desvios e, nesta medida, os *relay points* deverão situar-se ao longo do trajeto que efetua) e rotas com desvios (os fretes poderão efetuar desvios para alcançar os *relay points*).

Os resultados demonstraram que o algoritmo com rota direta obriga à implementação de mais *relay points* face aos algoritmos de rotas com desvios, e que ambos os algoritmos permitem uma maior regularização das rotas e incrementam o tempo dos condutores “passado em casa”. Contudo, Melton & Ingalls (2012) realçam como limitação a investigação não contemplar custos de implementação das instalações dos *relay points*. Mais se acresce que as rotas efetuam-se apenas entre centros de distribuição, sendo que o modelo não contempla uma procura geograficamente dispersa.

Mais recentemente, Taylor *et al.* (2009) sugeriram a criação de *pipelines*, como forma de expedição. Em logística, o transporte por *pipeline* refere-se a condutas para movimentar quantidades assinaláveis e a alta-velocidade líquidos e gases, como o petróleo (em oleodutos) e o gás natural (em gasodutos), entre outros. Os autores transpuseram o conceito de *pipeline* para o transporte de mercadorias, utilizando-o para se referirem a uma ligação efetuada por rodovia e com elevada procura de fretes.

O método proposto pelos autores assenta na movimentação de um elevado número de fretes entre duas regiões apenas, em que o *pipeline* é o elo de ligação entre essas mesmas regiões. Estipularam 2 tipos de condutores: locais – que “abastecem” e “escoam” os fretes do *pipeline* –, e de longo curso – com a função de movimentarem o frete ao longo do

corredor do *pipeline*. Os terminais do *pipeline* tratam-se, portanto, de *relay points*, no sentido em que existe transferência de fretes entre os condutores locais e os de longo curso. A extensão de um *pipeline* deve, como indicam os autores, respeitar meio turno do condutor, para que o condutor de longo curso possa efetuar a viagem de ida e de regresso num só turno, pernoitando no seu domicílio. De forma a não providenciar um circuito excessivo ao frete, os autores limitaram a distância adicional face ao sistema ponto-a-ponto em 50 milhas (aproximadamente 80 km).

Por outro lado, deverá existir um equilíbrio de fretes a circular em ambos os sentidos do *pipeline*, para que não ocorram viagens em vazio. Nesta medida, a criação de *pipelines* deverá ocorrer entre regiões que registem um elevado número de fretes “trocados” entre si, para minimizar a probabilidade de se efetuar viagens sem frete. Nem todas as ligações entre regiões são, portanto, boas candidatas a este tipo de expedição. Os autores propuseram efetuar um *ranking*, de entre uma série de ligações possíveis, para determinar as ligações mais apropriadas a operar em *pipeline*, em função da “distância percorrida equilibrada”. Este indicador determina a distância percorrida em *pipeline* para o menor número de fretes entre os dois sentidos, sendo calculado pela fórmula (2.5).

$$\text{Min} (n.^{\circ} \text{ fretes } A \rightarrow B; n.^{\circ} \text{ fretes } B \rightarrow A) \times (2 \times \text{distância do pipeline}) \quad (2.5)$$

Os autores simularam o modelo proposto ao caso real de um transportador norte-americano, permitindo concluir que a expedição por *pipelines* é viável numa perspetiva operacional, não contemplado, porém, uma análise de custos.

Posteriormente, Melton & Ingalls (2012) propuseram um modelo para a localização de *relay points*, com base na minimização dos custos totais, considerando as seguintes rubricas:

- (i) Custos fixos: construção das *relay points* e depreciação do equipamento;
- (ii) Custos variáveis: combustível, manutenção do equipamento, salários de condutores e custos associados ao *turnover* de condutores.

Os autores aplicaram a sua formulação a um caso real, comparando a rota criada com o atual sistema ponto-a-ponto e obtiveram resultados positivos: (i) o tempo de entrega diminuiu de 45,8 para 27,5 horas; (ii) possibilitou o regresso dos condutores ao domicílio todos os dias e não apenas um dia por semana e, simultaneamente, a carga horária é reduzida; e (iii) verificou-se uma maior utilização da frota. Vergara & Root (2013)

apontam, contudo, que o modelo formulado apenas é aplicável a um par origem – destino e não a uma rede integrada.

Os estudos analisados permitem diferenciar 3 tipos de redes baseadas no uso de *relay points*, conforme sugere a Figura 2-2.

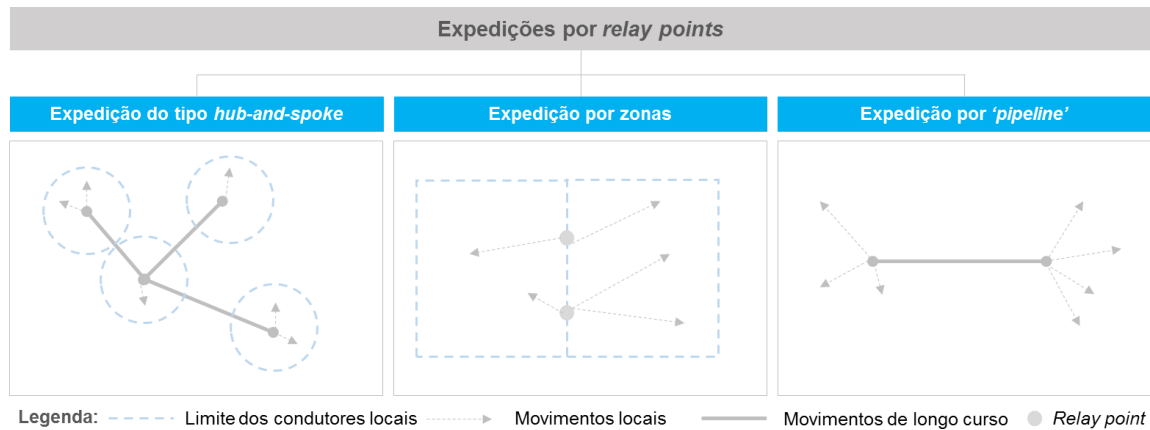


Figura 2-2: Tipos de redes assentes em *relay points*

2.5.3. Combinação híbrida de expedições

A literatura sugere que uma combinação híbrida de *relay points* e ponto-a-ponto pode resultar num sistema com uma performance superior face a um sistema que se baseia isoladamente num dos métodos (Liu *et al.*, 2003; Üster & Kewcharoenwong, 2011; Üster & Maheshwari, 2007). Aliás, o simulador HUBNET contemplava a opção da conjugação de ambos os tipos de expedição, embora Taha & Taylor (1994) não tenham construído regras no simulador que permitisse decidir o modo de expedição mais eficiente para cada frete.

Vergara & Root (2013) apelidou este tipo de problemas, que combina as duas formas de expedição, de *TLRND-MD* (do inglês, *truckload relay network design with mixed fleet dispatching*).

Os autores consideraram em situações cujo ponto de origem seja relativamente próximo do ponto de destino será mais vantajoso transportar o frete por ponto-a-ponto do que por *relay points*, o que é bastante perceptível (Figura 2-3).

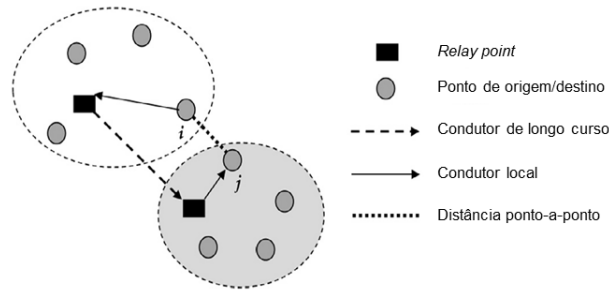


Figura 2-3: Excesso de circuito através da expedição por *relay points*

Fonte: Adaptado de Vergara & Root, 2013

Os autores fornecem duas abordagens para problemas com combinação híbrida de expedição. A primeira, estabelecida *a priori*, considera que fretes que apresentem um trajeto reduzido são pré-selecionados para expedição ponto-a-ponto e apenas é projetada a rede de *relay points* com os fretes remanescentes. A abordagem alternativa considera o desenvolvimento da rede por *relay points* para todos os fretes e apenas depois selecionar os fretes com circuito excessivo para serem transportados por ponto-ponto. Os autores determinaram que a abordagem *a priori* gerou uma maior redução dos custos totais.

Ainda assim, Vergara & Root (2013) forneceram uma abordagem mais completa que qualquer estudo realizado até então, quantificando concretamente o benefício de uma configuração híbrida face a um sistema assente somente em *relay points*, através de extensos testes computacionais.

2.6. Conclusões do capítulo

No presente capítulo foram analisados diferentes estudos que fornecem abordagens e técnicas de modelos para a conceção de redes assentes na utilização de *relay points*. Este tipo de rede permite aos condutores regressos mais frequentes ao domicílio e uma maior regularização das rotas efetuadas, diminuindo, por conseguinte, o elevado *turnover* dos mesmos no segmento de longo curso.

Inúmeros autores utilizaram nas suas simulações uma combinação híbrida (expedição por *relay points* e ponto-a-ponto), garantido uma performance superior face a um sistema que se baseia isoladamente num dos métodos.

A análise aos estudos efetuada permite concluir que genericamente são colocadas 4 questões, de natureza estratégica, nos problemas de *truckload relay network design (TRLND)*:

- (i) Quantos *relay points* localizar?

- (ii) Onde localizar os *relay points*?
- (iii) Qual a área geográfica de atuação de cada *relay point*?
- (iv) Quais os fretes a expedir por *relay points* e por sistema ponto-a-ponto? (problema do tipo *TRLND-MD*).

Para tal, são considerados usualmente 3 tipos de condutores: (i) locais, que movimentam os fretes entre o cliente e o *relay point* mais próximo; (ii) de longo curso, que conduzem os fretes entre os *relay points*; e (iii) irregulares, que continuam a suportar a expedição ponto-a-ponto.

A distância entre *relay points* deverá atender sobretudo às restrições de carga horária dos condutores. A localização e área de atuação dos mesmos deverá, por seu turno, procurar minimizar o *load imbalance* (como sugerem os estudos de Taha & Taylor, 1994; Taylor *et al.*, 1995), assim como minimizar os custos totais da operação (Melton & Ingalls, 2012). De facto, deverá existir um equilíbrio bidirecional de fretes a movimentar, para diminuir a probabilidade de falta de carga, sob pena de ocorrer um aumento excessivo da distância percorrida em vazio. Deste modo, o desenho deste tipo de redes deverá ter como base um histórico ou uma previsão suficientemente alargada de fretes, de forma a mitigar possíveis efeitos provocados pela sazonalidade da procura, conforme mencionou Taha & Taylor (1994).

Por último, a avaliação de viabilidade das redes por *relay points* deverá contemplar a análise de métricas na ótica de cada *stakeholder* envolvido (empresa, condutor e cliente), de acordo com Taylor *et al.* (1999) e Taylor *et al.* (2001). Na perspetiva do condutor, os autores consideram relevante avaliar a extensão das viagens que os profissionais efetuam, a quilometragem percorrida diariamente, regressos “a casa” e a regularização das rotas que efetuam. Na perspetiva da empresa, os autores apontam o serviço ao cliente e os custos gerados como métricas de avaliação; ao passo que na ótica do cliente consideram pertinente analisar o cumprimento do *lead time* estabelecido.

3. Metodologia

O presente capítulo descreve a abordagem metodológica definida para o objetivo de investigação em estudo. A Figura 3-1 apresenta as principais etapas delineadas.

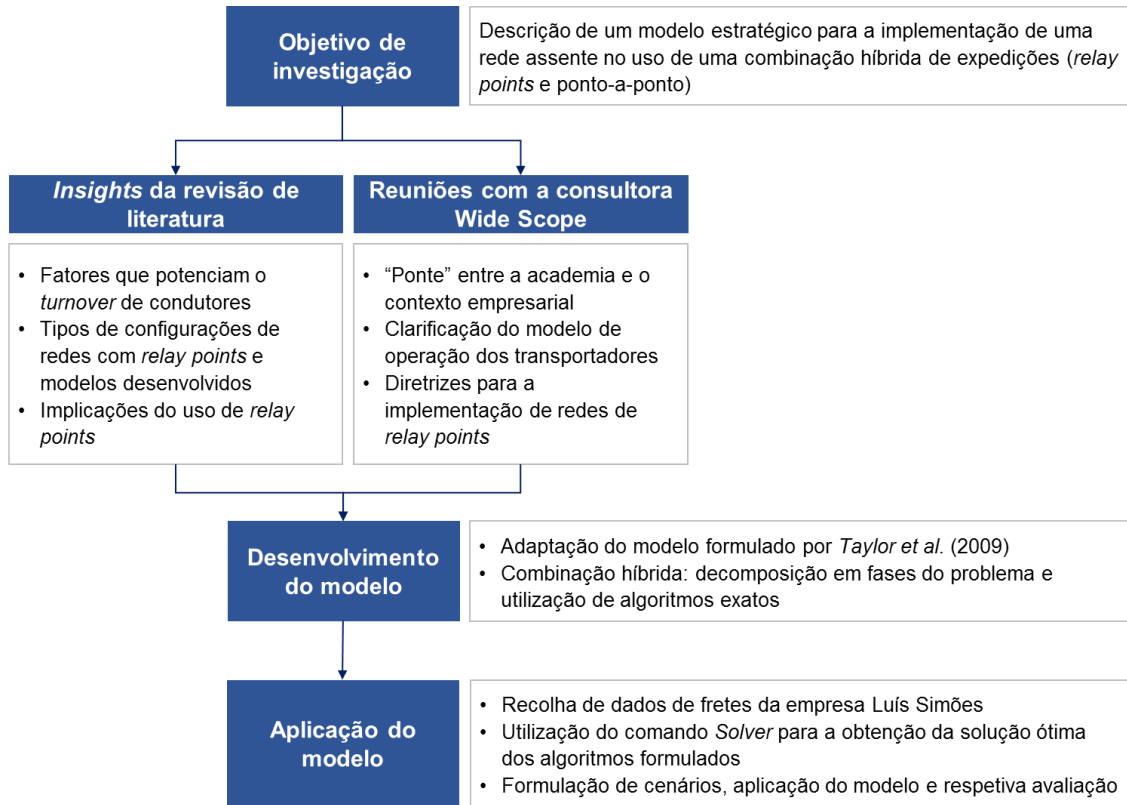


Figura 3-1: Abordagem metodológica definida

Os estudos analisados na revisão de literatura permitiram enunciar múltiplas abordagens para a conceção de redes assentes no uso de *relay points*. Convém, no entanto, realçar que implementar uma rede deste tipo, cobrindo na totalidade a área geográfica de atuação de uma empresa, poderá obrigar à instalação de inúmeros *relay points*, pressupondo um elevado investimento em instalações, e conseqüentemente tornando menos atrativa a adoção deste tipo de redes.

Por outro lado, conforme evidenciado nas reuniões com a consultora Wide Scope, as empresas de transporte registam uma procura de clientes bastante dispersa, verificando-se uma procura reduzida em algumas regiões e, nesta via, colocando entraves à viabilidade deste tipo de redes nessas zonas a nível operacional e económico.

Neste contexto, considera-se o racional da criação de *pipelines*, introduzido por Taylor *et al.* (2009), aparentemente mais apropriado, visto implementar o conceito de *relay points* em zonas onde efetivamente se regista um maior volume de fretes a circular e com

reduzido *load imbalance* (desequilíbrio de fretes entre sentidos). Na restante rede, continua a ser efetuada expedição ponto-a-ponto, resultando numa combinação híbrida de expedições, apontada por diversos autores como sendo vantajosa (Liu *et al.*, 2003; Üster & Kewcharoenwong, 2011). O modelo proposto seguirá, nesta via, a abordagem de *pipelines*, ainda que apresente algumas diferenças face ao modelo original proposto por Taylor *et al.* (2009).

Primeiro, porque em função do número de instalações a localizar, o modelo proposto determinará a localização das respetivas instalações e quais os *pipelines* a serem criados. Taylor *et al.* (2009), por oposição, definiu *a priori* potenciais localizações para as instalações e possíveis ligações candidatas para *pipelines*.

Em segundo, Taylor *et al.* (2009) não definiu áreas de atuação para as instalações. O modelo proposto considerará áreas de atuação, de modo a que um frete apenas possa ser expedido por *pipeline* caso os seus pontos de origem e de destino se localizem na zona abrangida pelas infraestruturas que suportam o respetivo *pipeline*.

Por outro lado, os mesmos autores consideraram dois *relay points* por cada *pipeline*, localizados nas extremidades. Estes pontos constituem instalações geridas pela empresa, nos quais os condutores locais trocam de reboque com os condutores de longo curso – estes últimos encarregam-se de transportar o frete ao longo do *pipeline*. Consideraram também que o comprimento do *pipeline* deverá corresponder a meio turno do condutor ou, no máximo, a um turno, para que os condutores possam regressar ao domicílio todos os dias ou a cada duas jornadas de trabalho, respetivamente. No entanto, esta restrição limita bastante o comprimento do *pipeline*, pelo que o modelo a desenvolver equaciona *relay points* intermédios sobre o *pipeline*, permitindo aumentar o seu comprimento, sem sacrificar os regressos dos condutores aos seus domicílios.

Mais se acresce que o modelo pressupõe localizar esses pontos intermédios na via pública ou em locais de acesso público, ainda que na literatura não fossem encontradas quaisquer evidências alusivas a esta opção. No entanto, tal poderá ocorrer, uma vez que:

- A operação de troca de reboques entre condutores no *relay point* não exige o manuseio de cargas (verifica-se apenas a troca de reboques entre veículos);
- Evitará a implementação de múltiplas instalações de *relay points* e o investimento e custos de manutenção daí decorrentes, tornando a opção de adotar uma rede por *relay points* economicamente mais atrativa.

Esta opção apenas obriga a que esses *relay points* se localizem num espaço relativamente alargado para as manobras dos veículos. Tal poderá ocorrer, a título exemplificativo, num parque de estacionamento ou numa estação de serviço. De acordo com a Wide Scope, esta opção apresenta-se como uma prática empresarial, ainda que ocorra de forma bastante pontual, atualmente.

O modelo a desenvolver será complementado com outras orientações e abordagens fornecidas pela literatura, nomeadamente na fase de análise agregada de procura (através de Taha & Taylor, 1994) e no modo de operação de redes por *relay points* (por via de Taylor *et al.*, 2009; Üster & Maheshwari, 2007).

As reuniões com a consultora Wide Scope tiveram como principal propósito a validação do racional delineado para a resolução do problema em estudo, contribuindo também para a clarificação do modo de operação das empresas de transporte.

O modelo a desenvolver pretende, desta forma, localizar os *pipelines* e respetivos *relay points*, devendo atender à minimização do *load imbalance*, viagens em vazio e de eventuais acréscimos de distâncias percorridas, enquanto fatores geradores de ineficiências e custos para este tipo de problemas, conforme ressaltou Üster & Maheshwari (2007).

Dada a dimensão e complexidade do problema, resultante das inúmeras variáveis e restrições a equacionar, a estratégia de resolução do mesmo será desenvolvida de forma faseada. Em algumas etapas, recorrer-se-á a conhecimentos de investigação operacional, descrevendo algoritmos através de programação não-linear, que permite a maximização ou minimização de uma função com diversas variáveis, denominada função objetivo, sendo que esta função está sujeita, por sua vez, a um conjunto de restrições.

A resolução do problema resultará então numa combinação híbrida, por via do desenvolvimento de uma heurística e conjugação de métodos exatos em determinados passos da heurística para garantir maior robustez de resultados.

De forma a obter resultados que permitam analisar a viabilidade do modelo desenvolvido face a um sistema ponto-a-ponto, considerou-se ser necessário recorrer a um caso real de uma empresa para a obtenção de dados, que servirão de *inputs* ao modelo.

Nesta medida, procedeu-se à recolha de dados de fretes do serviço de regime de carga completa da empresa Luís Simões. A zona piloto definida compreendeu a Península

Ibérica, uma vez que a transportadora eleita opera um volume significativo de fretes nessa região e com alguma dispersão geográfica, revelando ser, neste sentido, uma zona potencialmente candidata à adoção de um sistema de *pipelines*.

A amostra selecionada compreendeu 2.018 fretes, realizados entre Novembro de 2014 e Janeiro do ano seguinte (3 meses de horizonte temporal), recolhendo dados da localização geográfica dos pontos de origem e destino de cada frete.

A fase de tratamento dos respetivos dados teve como recurso o *Microsoft Excel*, onde foi possível numa fase preliminar excluir os dados ilegíveis ao estudo, e de seguida trabalhá-los, por forma a obter os *inputs* necessários aos algoritmos formulados.

Serão criados diversos cenários de análise, em função do número de instalações a implementar e a área geográfica de atuação de cada instalação, para aplicação do modelo proposto.

As soluções ótimas para os algoritmos descritos serão obtidas pela ferramenta de otimização *Solver* do *Microsoft Excel*, por via da seleção do algoritmo GNR Nonlinear (indicado para programação não-linear). Os motivos subjacentes à seleção do *Solver* prendem-se com a facilidade de acesso e pela usabilidade da ferramenta.

A obtenção dos resultados do modelo para os cenários definidos permitirá efetuar uma análise operacional e de viabilidade económica na ótica de poupanças geradas e custos acrescidos, pela comparação do sistema proposto com o atual sistema de operação. Posteriormente, efetuar-se-á uma análise qualitativa, apurando os impactos económicos e sociais para os diversos *stakeholders* envolvidos (empresa, condutor e cliente).

4. Modelo proposto para o *design* de uma rede por *relay points*

No presente capítulo é descrito o modelo proposto que, como referido anteriormente, resultará numa combinação híbrida, pela decomposição do problema em diversas fases, e resolução de algumas dessas fases por métodos exatos. Convém, no entanto, clarificar primeiramente o âmbito e pressupostos do problema em estudo, assim como as respetivas questões de investigação.

4.1. Pressupostos do modelo

Nesta secção são descritos os pressupostos considerados para o modelo, nomeadamente a combinação híbrida de expedições (por *pipeline* e ponto-a-ponto) definida, tipos de infraestruturas utilizadas e categorias de condutores estabelecidas.

4.1.1. Modo de expedição de fretes

O modelo proposto procurará criar *pipelines* entre regiões que registem uma forte procura de fretes, introduzindo nesses corredores de longo curso os *relay points*. As ligações que não forem expedidas por *pipeline*, manterão o seu atual sistema de expedição (ponto-a-ponto).

Quando um frete é expedido por *pipeline*, o condutor local encarrega-se de carregar o veículo no ponto de origem do cliente e movimentá-lo até ao *hub* da região (instalação da empresa). Aí, o frete poderá aguardar até a sua “entrada” ser oportuna no *pipeline*. Os condutores de longo curso responsabilizam-se pelo movimento do frete ao longo do *pipeline*, o qual poderá ser transferido entre sucessivos condutores nos *IRPs* (*relay points* localizados na via pública ou de acesso público) e *hubs* até alcançar o *hub* responsável por servir o seu destino final. Um condutor local alocado a esse *hub* encarrega-se então de movimentar o frete até ao destino final e descarregar a mercadoria, concluindo o processo de entrega.

Na abordagem do modelo a desenvolver, deverá ser considerado *a priori* o número de *hubs* a implementar, enquanto parâmetro do modelo. Optou-se por definir *a priori*, uma vez que este parâmetro acarreta investimento em instalações e, nesta medida, está inteiramente dependente da disponibilidade financeira da empresa. Caso contrário, o modelo poderia indicar que a melhor solução seria um número de *hubs* superior ao número idealizado/possível a implementar pela empresa.

4.1.2. Tipos de infraestruturas

O modelo proposto considera 2 tipos de infraestruturas:

- (i) *Hubs*: instalações detidas e/ou geridas pela empresa, localizadas nas extremidades dos *pipelines*, que servirão como *relay points* entre condutores locais e de longo curso – identicamente aos *relay points* que Taylor *et al.* (2009) considerou;
- (ii) *Intermediate relay points (IRPs)*: pontos na via pública ou de acesso público localizados sobre os *pipelines*, utilizados somente para a transferência de reboques entre condutores de longo curso.

Nos *hubs*, a transferência de reboques poderá não ocorrer de imediato, sendo que os fretes poderão permanecer armazenados temporariamente no local, permitindo à empresa obter maiores eficiências na sua operação pela decisão de qual o momento mais adequado para expedir o frete no *pipeline* ou entregar o frete no cliente.

Os *hubs*, enquanto instalações da empresa, dispõem de zona de estacionamento de veículos e nos quais os condutores iniciam e finalizam o seu turno de trabalho.

Por outro lado, cada *hub* servirá uma determinada área de atuação de clientes. Deste modo, um frete apenas poderá ser expedido por *pipeline* caso os seus pontos de origem e de destino se localizem em áreas de atuação de *hubs*. Noutra perspetiva, as áreas de atuação limitam até onde os condutores locais poderão ir recolher ou entregar fretes. Os *IRP* não terão áreas de atuação, pelo que não poderão entrar e sair fretes do *pipeline* nestes locais.

Por último, considera-se que cada *hub* poderá servir mais que um *pipeline*.

4.1.3. Categorias de condutores

Conforme enunciado, o modelo proposto envolve uma combinação híbrida de expedições (ponto-a-ponto e por *pipeline*). Para tal, serão considerados 3 tipos de condutores (locais, de longo curso e irregulares), cujas funções de cada categoria encontram-se detalhadas na Tabela 4-1/Figura 4-1, seguindo os princípios da abordagem definida por Taha & Taylor (1994).

Tabela 4-1: Categorias de condutores do modelo

Categoria	Descrição
Locais	<ul style="list-style-type: none"> • Responsáveis por movimentar localmente o frete entre o ponto do cliente (origem ou destino) e o <i>hub</i> que serve a região; • “Escoam” e “alimentam” os fretes nos <i>pipelines</i>; • Não circulam além da área de atuação do <i>hub</i> a que estão afetos; • Procedem às operações de carga/descarga no cliente.
Longo curso	<ul style="list-style-type: none"> • Movimentam o frete entre <i>hubs</i> ou entre estes e <i>IRPs</i>, não servindo diretamente o cliente.
Irregulares	<ul style="list-style-type: none"> • Dedicados à expedição ponto-a-ponto; • Continuam a pernoitar, sempre que necessário, fora da zona de domicílio.

4.2. Descrição do modelo

O modelo proposto visa dar resposta às seguintes questões:

- (i) Que ligações deverão integrar a rede de *pipelines* e quais a manter por expedição ponto-a-ponto?
- (ii) Qual a área de atuação de cada *hub*?
- (iii) Onde localizar os *hubs* e os *IRPs*?
- (iv) Qual a capacidade a instalar na rede de *pipelines*?
- (v) Quantas dormidas “em estrada” poderão ser evitadas com a rede de *pipelines* criada?

Para responder às questões enunciadas anteriormente, a resolução do problema será decomposta em 5 fases. A Figura 4-1 apresenta, de forma genérica, cada uma das fases do modelo proposto. Sucintamente, na primeira fase, o elevado volume de informação de recolha de dados de fretes típico destes problemas é organizado e agregado para determinar o fluxo de fretes por cada ligação entre duas regiões. Na fase 2, serão seleccionadas as ligações que mais se adequam ao funcionamento por *pipelines*, maximizando o número de fretes a circular em *pipelines* e, simultaneamente, minimizando o *load imbalance* entre os sentidos de cada *pipeline*. Na fase seguinte, utilizar-se-á um modelo contínuo para a localização dos *hubs* e, posteriormente, serão localizados os *IRPs*. Na fase 4, será determinada a capacidade a instalar nos *pipelines*, ou seja, o número máximo de fretes

que poderá circular pelos *pipelines*. Por último, serão fornecidas indicações para uma análise de viabilidade ao modelo proposto (fase 5).

Fases	Principais <i>inputs</i>	Atividades	Principais <i>outputs</i>
1 Análise da procura	<ul style="list-style-type: none"> Histórico/previsão de dados de fretes 	<ul style="list-style-type: none"> Agregação dos pontos de origem e de destino dos fretes por regiões Indicação das ligações existentes (fluxos de fretes entre duas regiões) 	<ul style="list-style-type: none"> Ligações
2 Criação de <i>pipelines</i>	<ul style="list-style-type: none"> Ligações [<i>output</i> fase 1] N.º de <i>hubs</i> a implementar (parâmetro) 	<ul style="list-style-type: none"> Aplicação de algoritmo para selecionar entre as ligações existentes aquelas que mais se adequam à expedição por <i>pipelines</i> 	<ul style="list-style-type: none"> Área de atuação dos <i>hubs</i> (regiões servidas por <i>hub</i>) Ligações selecionadas para <i>pipelines</i>
3 Localização de infra-estruturas	<ul style="list-style-type: none"> Ligações [<i>output</i> fase 1] Área de atuação dos <i>hubs</i> [<i>output</i> fase 2] Distância local permitida (parâmetro) 	<ul style="list-style-type: none"> Aplicação de algoritmo para localizar geograficamente os <i>hubs</i> e para determinar a extensão dos <i>pipelines</i> Localização de <i>IRPs</i> nos <i>pipelines</i> 	<ul style="list-style-type: none"> Localização de <i>hubs</i> e <i>IRPs</i> Caraterização dos <i>pipelines</i> Acréscimo de circuito da expedição por <i>pipeline</i> face a ponto-a-ponto
4 Dimensionamento da capacidade dos <i>pipelines</i>	<ul style="list-style-type: none"> Histórico/previsão de dados de fretes das ligações selecionadas Capacidade excedentária (parâmetro) 	<ul style="list-style-type: none"> Aplicação de algoritmo para determinar a capacidade a instalar nos <i>pipelines</i>, tendo em conta o nível máximo de capacidade excedentária permitido 	<ul style="list-style-type: none"> N.º fretes a circular por <i>pipeline</i> N.º de dormidas "em estrada" evitadas Viagens em vazio
5 Análise de viabilidade	<ul style="list-style-type: none"> Acréscimo de circuito [<i>output</i> fase 3] Dormidas evitadas [<i>output</i> fase 4] Viagens em vazio [<i>output</i> fase 4] Receitas e custos (pressupostos) 	<ul style="list-style-type: none"> Desenvolvimento de <i>business case</i> para estimar as poupanças geradas do modelo proposto face à expedição ponto-a-ponto 	<ul style="list-style-type: none"> Poupanças geradas

Figura 4-1: Fases do modelo desenvolvido

4.2.1. Fase I: Análise de procura

Neste tipo de problemas, é usual utilizar-se um histórico de fretes referente a um período temporal bastante alargado, de forma a mitigar possíveis efeitos de sazonalidade/ oscilações da procura e garantir que a amostra recolhida “comporta-se” de acordo com a população. Contudo, dado o elevado volume de dados de fretes recolhido e de forma a possibilitar o seu manuseio, torna-se vantajoso constituir *clusters* de fretes. Esta metodologia visa criar conjuntos de fretes que partilhem determinadas características comuns para que sejam tratados e analisados de forma idêntica. De realçar que apenas serão utilizados dados de fretes que obriguem os condutores a pernoitar fora-de-casa.

Cada frete apresenta inequivocamente um ponto de origem (local de recolha) e um ponto de destino (local de entrega), caracterizados pelas suas coordenadas geográficas.

Uma vez que o problema em análise aborda distâncias, deverá agregar-se um frete a outro se os pontos de um se localizam próximos dos pontos do outro. Assim, é possível induzir que ambos os fretes apresentam distâncias percorridas idênticas.

No entanto, é necessário estabelecer limites à agregação, sob pena de se incluir todos os fretes no mesmo conjunto, enviesando em demasia os resultados finais. Neste sentido, deverão ser criadas regiões, seguindo o racional definido por Taha & Taylor (1994), pela divisão da área geográfica em regiões de 2º em 2º de latitude e longitude.

Após, a localização dos pontos de origem e destino dos fretes nas regiões, identificam-se as ligações existentes. O termo «ligação» designa o caminho entre um par de regiões. Uma ligação entre duas regiões existirá caso se verifiquem fretes a circular entre elas. O *load imbalance* da ligação (desequilíbrio entre sentidos da ligação) é dado pela equação (4.1).

$$\text{Load imbalance (\% da ligação } A - B) = \frac{|n.^{\circ} \text{ fretes } A \rightarrow B - n.^{\circ} \text{ fretes } B \rightarrow A|}{n.^{\circ} \text{ fretes } A \rightarrow B + n.^{\circ} \text{ fretes } B \rightarrow A} \times 100 \quad (4.1)$$

A Figura 4-2 sintetiza os *inputs* necessários, passos a tomar e *outputs* gerados nesta fase.

Inputs	Procedimentos	Outputs
<ul style="list-style-type: none"> Dados dos pontos de origem e de destino dos fretes 	<ul style="list-style-type: none"> Dividir a área geográfica da procura em regiões Localizar os pontos de origem e de destino no mapa Identificar ligações entre regiões (estimando o volume de fretes a circular em cada sentido da ligação) Determinar o <i>load imbalance</i> de cada ligação 	<ul style="list-style-type: none"> Ligações possíveis (volume de fretes por sentido e <i>load imbalance</i>)

Figura 4-2: Descrição da fase I

Apresenta-se seguidamente um exemplo de *inputs* e *outputs* da fase I (Figura 4-3).

I.1					I.2	
ID de frete	Ponto de origem (<i>input</i>)		Ponto de destino (<i>input</i>)		Origem	Destino
	Latitude	Longitude	Latitude	Longitude	Região	Região
101	38,453	-3,595	40,440	1,145	A	C
102	41,120	0,022	38,157	-3,591	C	A
103	39,322	-2,010	40,212	1,722	A	C
104	39,110	-2,882	44,202	-1,119	A	B

Ligação	Sentido A > B		Sentido B > A		Load imbalance
	N.º fretes	ID de fretes	N.º fretes	ID de fretes	
A-B	1	104	0	-	100%
A-C	2	101, 103	1	102	33%

Figura 4-3: Exemplo de *inputs* e *outputs* da fase I

4.2.2. Fase II: Criação de *pipelines*

A fase II engloba a construção de um algoritmo para a criação de *pipelines*. No contexto do problema, um *pipeline* poderá corresponder apenas a uma ligação ou resultar da agregação de diversas ligações, definidas na fase I.

Idealmente, quantos mais fretes circularem por *pipelines* e quantos mais *pipelines* existirem, mais dormidas “em estrada” serão evitadas, tornando a expedição por *pipelines* mais atrativa. No entanto, o número de *pipelines* é limitado e dependente do número de *hubs* a instalar (parâmetro do modelo). Denote-se que o número mínimo de *hubs* a considerar será 2, visto que para se estabelecer um *pipeline* serão necessários impreterivelmente 2 *hubs* (um em cada extremidade). Se se considerar 3 *hubs*, será possível estabelecer no máximo 3 *pipelines* e com 4 *hubs* até 6 *pipelines*, e assim por diante de acordo com a fórmula $\frac{n(n-1)}{2}$, sendo n o número de *hubs*, para $n \geq 2$ (Figura 4-4).

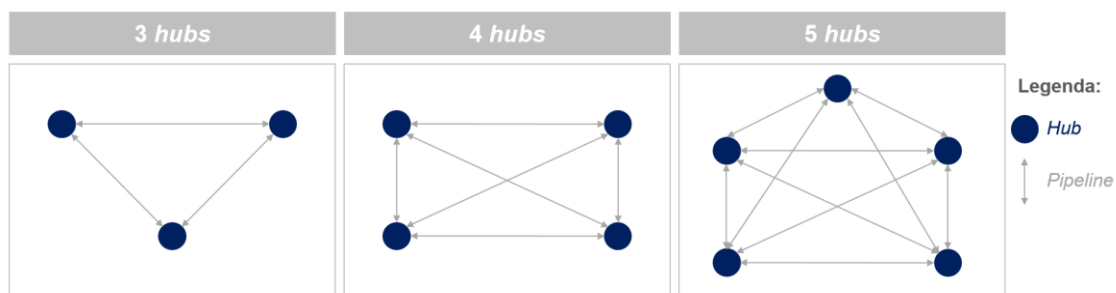


Figura 4-4: Exemplos de *pipelines* possíveis para 3, 4 e 5 *hubs*

Paralelamente, nem todas as ligações existentes poderão ser agregadas num mesmo *pipeline* e algumas poderão não ser eleitas para este tipo de expedição, existindo critérios de proximidade e de *load imbalance* para a sua seleção, que serão incorporados no algoritmo a desenvolver e detalhados seguidamente.

Outro parâmetro do modelo respeita o número máximo de regiões que cada *hub* pode servir. O algoritmo a desenvolver considera que um *hub* apenas pode servir até duas regiões, desde que sejam contíguas, conforme ilustra a Figura 4-5.

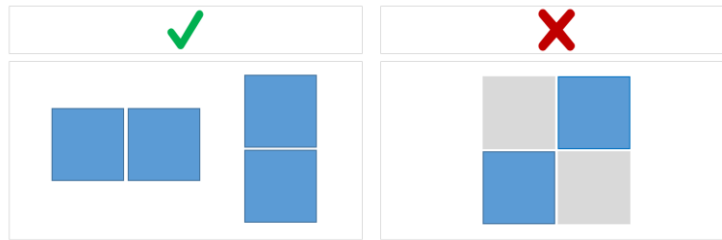


Figura 4-5: Regiões contíguas contempladas pelo algoritmo de criação de *pipelines*

Conforme supracitado na fase I, cada ligação é caracterizada por um par de regiões. Para duas ligações pertencerem ao mesmo *pipeline*, deverão, pelo menos, conter uma região em comum e as restantes duas serem contíguas entre si ou, em alternativa, as regiões de uma ligação serem contíguas às regiões da outra ligação.

A Figura 4-6 exemplifica a criação de um *pipeline* através da agregação de 4 ligações, sendo que cada *hub* serve duas regiões. Verifica-se que caso o algoritmo atribua um *hub* às regiões A e B e outro *hub* às regiões C e D, então as ligações entre elas (A-C, A-D, B-C e B-D) formarão necessariamente um *pipeline*.

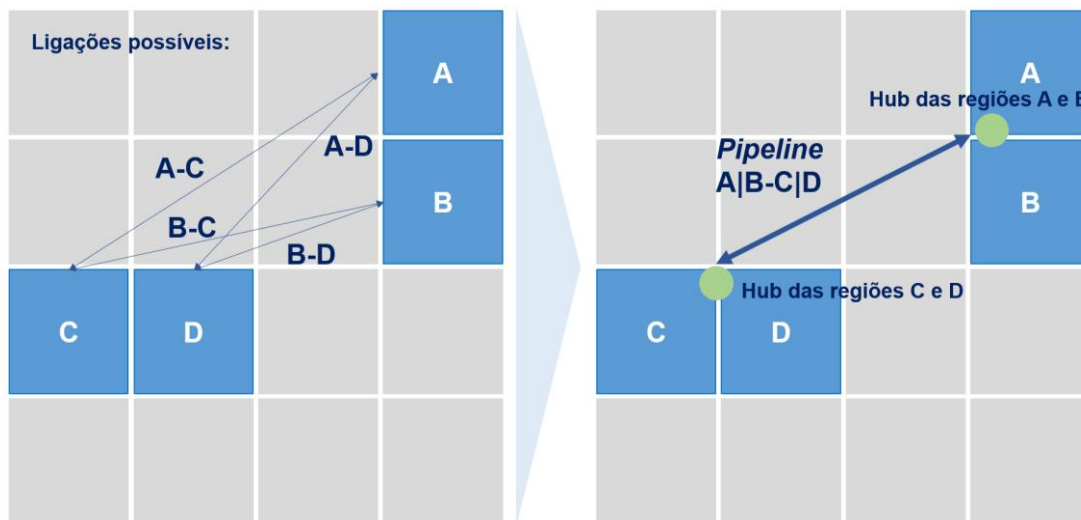


Figura 4-6: Exemplo de *pipeline* criado por via da agregação de 4 ligações

Importa clarificar a importância da criação de *pipelines*. Caso não se agregasse as ligações e para estas funcionarem por *relay points* de modo a evitar dormidas “em estrada”, ter-se-ia que implementar inúmeros *hubs* (um por região) e *IRPs* ao longo de cada ligação. Mais se acresce, que nem todas as ligações apresentam um balanceamento de fretes entre sentidos equilibrado. Tal situação é bastante indesejável num cenário de *relay points*, uma vez que obriga a inúmeras viagens em vazio no sentido de menor procura. Tomando como referência a Figura 4-7, a falta de um frete para a “troca” no *relay point*, originará 2

trajetos em vazio (do condutor 2 do *hub* para o *IRP* e do condutor 1 do *IRP* para o *hub* a que está alocado), totalizando uma viagem em vazio de extensão igual à viagem entre a origem e o destino do frete A.



Figura 4-7: Efeito do desequilíbrio de fretes entre sentidos da ligação

A criação de *pipelines* tem então como objetivo mitigar o efeito dos desequilíbrios de fretes. Tal será concretizável porque devido à agregação de ligações, o desequilíbrio no sentido de uma ligação poderá potencialmente compensar o desequilíbrio no sentido oposto da outra ligação, “emparelhando” os fretes e diminuindo, por seu turno, o *load imbalance*. Considere-se o exemplo da Figura 4-8 que retoma a situação ilustrada na Figura 4-6. As ligações A-C, A-D e B-C apresentam elevados *load imbalances*, não atraindo aparentemente uma expedição por *relay points*. No entanto, a sua agregação originando um *pipeline*, conjuntamente com a ligação B-D, desencadeará um *load imbalance* substancialmente inferior e, portanto, uma situação mais atrativa para uma expedição por *relay points*.

Ligação	N.º fretes de A ou B para C ou D	N.º fretes de C ou D para A ou B	Load imbalance
A-C	90	15	71%
A-D	30	150	67%
B-C	200	75	45%
B-D	80	60	14%

Agregação das ligações, criando *pipeline*

Pipeline	N.º fretes de A e B para C e D	N.º fretes de C e D para A e B	Load imbalance
A B-C D	400	300	14%

Figura 4-8: Exemplo de potencial minimização do *load imbalance* pela criação de *pipelines*

Outra questão pertinente refere-se ao número potencial de fretes a transportar por *pipeline*. Considerando ainda o exemplo da Figura 4-8, 700 fretes poderiam ser movimentados no *pipeline* teoricamente (somatório dos fretes dos dois sentidos). No entanto, dado o *load imbalance* de 100 fretes, seriam efetuadas necessariamente outras

100 viagens em vazio, situação a evitar, tanto quanto possível. Neste sentido, o potencial de fretes a circular por *pipeline* será de apenas 600 e os 100 fretes remanescentes são entregues por sistema ponto-a-ponto, evitando, desta forma, as 100 viagens em vazio.

O potencial número de fretes a circular por *pipeline* (α) é, nesta via, determinado pelo sentido com menor procura, correspondendo ao número de fretes (F) desse sentido multiplicado por 2 (l e l' representam sentidos opostos na fórmula (4.2) e p representa o *pipeline*):

$$\alpha = \text{Min} \left\{ \sum_l F_l, \sum_{l'} F_{l'} \right\} \times 2, \forall p \quad (4.2)$$

Retomando ainda a Figura 4-8, caso não fosse estabelecido um *pipeline*, o potencial número de fretes a circular por *relay points* seria também menor (15 fretes, na ligação A-C, 30 na A-D, 75 na B-C e 60 na B-D, totalizando apenas 180 fretes, por oposição aos 300 fretes potenciais para *pipeline*).

4.2.2.1. Descrição do algoritmo

O algoritmo para a criação de *pipelines* deverá, em função do número de *hubs* a localizar e do número máximo de regiões a servir por *hub*, determinar:

- (i) Quais os *pipelines* a estabelecer;
- (ii) Que ligações integrarão cada *pipeline*;
- (iii) Quais as regiões alocadas a cada *hub* – *i.e.*, área de atuação de cada *hub*.

O algoritmo será descrito em programação não-linear, em que a função objetivo (4.3) maximiza o potencial número de fretes que circularão via *pipelines* (α), tratando-se, nesta medida, de um problema do tipo *maxmin*.

$$\text{MaxMin} \left\{ \sum_l F_l x_{lpr}, \sum_{l'} F_{l'} x_{l'pr} \right\}, \forall p, \forall r \quad (4.3)$$

Conjuntos

- Conjunto de regiões r que detenham ligações
- Conjunto de ligações l identificadas na Fase I
- Conjunto de potenciais *pipelines* p

Parâmetros

- Número de fretes por ligação (F_l)
- Número de *hubs* a implementar (H)
- Número máximo de regiões admissíveis por *hub* (M)
- Regiões adjacentes ($A_{r,r'} = \{0,1\}$; se r e r' são regiões adjacentes, então $A_{r,r'} = 1$; caso contrário, $A_{r,r'} = 0$)

Variáveis de decisão

- $x_{l,p,r} = \{0,1\}$, se a ligação l é servida pelo pipeline p que pertence à região r
- $y_r = \{0,1\}$, se a região r é servida por um *hub*

Restrições

- Cada *hub* não poderá exceder o parâmetro de regiões admissíveis por *hub*
- Cada *hub* deverá, pelo menos, conter uma região
- Cada região será alocada a um *hub* apenas
- Duas regiões poderão pertencer ao mesmo *hub*, caso sejam contíguas
- Uma ligação apenas integrará um *pipeline*, se as regiões que a caracterizam forem servidas por *hubs*
- Se as regiões de uma ligação forem servidas por *hubs*, então a ligação pertencerá necessariamente ao *pipeline* que as conecta

4.2.3. Fase III: Localização de infraestruturas

A aplicação do algoritmo de criação de *pipelines* permite determinar a melhor combinação de ligações para a criação desta expedição, de forma a maximizar o potencial número de fretes a circular nos *pipelines*. Embora indique as regiões alocadas a cada *hub*, não fornece uma localização geográfica para os mesmos; e ainda que identifique quais as ligações a integrar cada *pipeline*, não determina o comprimento destes corredores de longo curso, nem contempla o número e localização dos *IRPs*. Neste sentido, a fase III visa fornecer uma solução para as condicionantes do algoritmo descrito na fase anterior.

Uma das principais implicações de redes baseadas no uso de *relay points*, supracitada na revisão de literatura, envolve o acréscimo de distância do frete face a uma expedição ponto-a-ponto. Enquanto no sistema ponto-a-ponto, o frete circula sobre o “caminho mais

curto” entre a origem e o destino, numa expedição por *relay points*, os fretes efetuam, por norma, desvios para alcançar estes pontos de transferência de reboques.

No modelo desenvolvido, os fretes podem efetuar desvios para alcançar os *hubs*. Uma vez que os *hubs* servem inúmeros fretes, será naturalmente impossível localizar os *hubs* sobre os “caminhos mais curtos” de todos os fretes, gerando inevitavelmente um acréscimo de distância face à expedição ponto-a-ponto (Figura 4-9). A localização geográfica dos *hubs* deverá, como tal, tomar em consideração a minimização do acréscimo de distância face à expedição ponto-a-ponto.

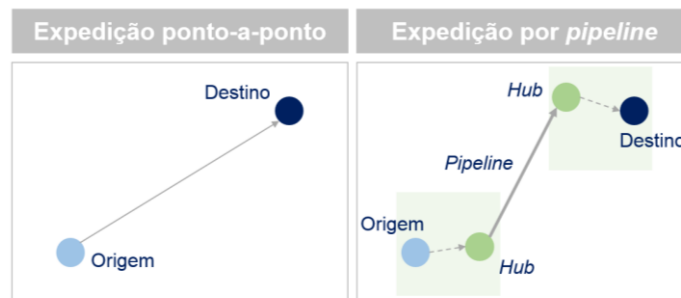


Figura 4-9: Acréscimo de distância da expedição por *pipeline* face à expedição ponto-a-ponto

Por outro lado, os *hubs* deverão localizar-se, de modo a que os condutores locais possam, num mesmo turno, recolher ou entregar um frete e regressar ao *hub*, evitando dormidas fora-de-casa. A distância máxima entre o *hub* e o ponto de origem ou de destino do cliente, designada por distância limite local (*DLL*), será estimada em função da velocidade média do veículo, do tempo de operação de carga/descarga da mercadoria no cliente e da duração do turno do condutor, de acordo a fórmula (4.4).

$$DLL = \frac{(t_t - t_{op}) \times v}{2}, \text{ em que:} \quad (4.4)$$

- *DLL*: distância limite local (em km);
- t_t : duração do turno do condutor local excluindo pausas (em horas);
- t_{op} : duração da operação de carga/descarga no cliente (em horas);
- v : velocidade média do veículo (em km/h).

O quociente 2 representa a viagem de ida ao cliente e de regresso ao *hub* do condutor.

A localização geográfica dos *hubs* deverá, portanto, procurar minimizar o acréscimo de distância dos fretes face à expedição ponto-a-ponto e atender à restrição da distância limite local.

4.2.3.1. Descrição do algoritmo para a localização de *hubs*

As coordenadas geográficas dos *hubs* serão determinadas através de um algoritmo, descrito em programação não-linear, visando garantir um modelo de localização contínua e uma solução ótima para o problema.

A função objetivo do problema (4.5) procura minimizar a distância total percorrida pelos fretes das ligações que integram os *pipelines*, ao longo do seu trajeto (da origem até ao *hub* que serve a região, em *pipeline* e entre o *hub* final e o destino).

$$\text{Min} \sum_{\substack{l \\ K_{l,i}=1 \\ T_{l,i'}=1}} \sum_{h,h'} \sum_{i,i'} (Dis_{i,h} + Dis_{h,h'} + Dis_{h',i'}) \times F_{i,i'} \quad (4.5)$$

As distâncias $Dis_{i,h}$ (entre o ponto de origem i da ligação e o *hub* que a serve), $Dis_{h,h'}$ (comprimento do *pipeline*) e a $Dis_{h',i'}$ (entre o último *hub* e o ponto de destino) são calculadas em linha reta (distância euclidiana) através das coordenadas geográficas e corrigidas por um fator de circuito. Este fator tem como objetivo aproximar a distância euclidiana à distância percorrida por estrada. O cálculo das distâncias é efetuado através da fórmula (4.6).

$$Dis_{ab} = \sqrt{(lon_a - lon_b)^2 + (lat_a - lat_b)^2} \times FCO \times FCI, \text{ em que:} \quad (4.6)$$

- Dis_{ab} : distância entre os pontos A e B;
- lon_a : longitude em graus do ponto A;
- lon_b : longitude em graus do ponto B;
- lat_a : latitude em graus do ponto A;
- lat_b : latitude em graus do ponto B;
- FCO : fator de conversão de graus para quilómetros;
- FCI : fator de circuito.

Conjuntos

- Conjunto de locais i (origens e destinos das ligações selecionadas na Fase II para *pipelines*), representados cada um por lat_i (latitude em graus) e $long_i$ (longitude em graus)
- Conjunto de ligações l selecionadas na Fase II para *pipelines*
- Conjunto de *hubs* h

Parâmetros

- Distância limite local (DLL)
- Número de fretes que circulam entre a origem i e o destino i' ($F_{i,i'}$)
- $K_{l,i}$: se a ligação l tem origem no local $i = \{0,1\}$
- $T_{l,i}$: se a ligação l tem destino o local $i = \{0,1\}$

Variáveis de decisão

- Lat_h : latitude em graus do *hub* h
- $Long_h$: longitude em graus do *hub* h

Restrições

- As distâncias locais ($Dis_{i,h}$ e $Dis_{h',i'}$) não poderão exceder a distância limite local (DLL) definida

Uma vez que o algoritmo determina a solução ótima, desprezando questões de ordenamento do território, os *hubs* poderão localizar-se eventualmente sobre uma zona residencial, montanhosa, ou em qualquer outro local inapropriado à instalação dos mesmos. Deste modo, a sua localização deverá ser ajustada manualmente.

4.2.3.2. Considerações sobre a localização de *IRPs*

Determinada a localização dos *hubs* e, conseqüentemente, apurado o comprimento de cada *pipeline*, a próxima etapa passa por localizar os *IRPs* sobre os *pipelines*. O número de *IRPs* por *pipeline* varia em função do comprimento deste, da velocidade média de condução e da duração do turno dos condutores de longo curso.

A primeira etapa consiste em determinar a distância que cada condutor de longo curso poderá percorrer por turno, que depende do número de horas de condução por turno e da

velocidade média do veículo. Calculado este parâmetro, conclui-se que a distância que o condutor poderá circular por sentido do *pipeline* será metade do valor obtido, de forma a permitir o seu regresso ao *hub* inicial na mesma jornada de trabalho. Deste modo, a distância máxima entre *relay points* (*hubs* ou *IRPs*) consecutivos, designada por *DSP*, não deverá exceder a distância que o condutor poderá percorrer por sentido no *pipeline* (4.7).

$$DSP = \frac{t_t \times v}{2}, \text{ em que:} \quad (4.7)$$

- *DSP*: distância limite entre *relay points* consecutivos (em km);
- t_t : duração do turno do condutor local excluindo pausas (em horas);
- v : velocidade média do veículo (em km/h).

O parâmetro *DSP* é utilizado, por seu turno, para estimar o número necessário de *IRPs* a localizar sobre cada *pipeline* (4.8), sendo que o resultado obtido deverá ser arredondado por excesso às unidades.

$$IRP = \frac{d_p}{DSP} - 1, \text{ para } d_p > DSP, \text{ em que:} \quad (4.8)$$

- *IRP*: número de *IRPs* a instalar no *pipeline*;
- d_p : comprimento do *pipeline* (em km).

Caso o comprimento do *pipeline* seja inferior ou igual ao *DSP*, então não haverá necessidade de implementar *IRPs* – o condutor percorrerá por completo o *pipeline*.

A Figura 4-10 esquematiza a caracterização dos *pipelines* (número de *IRPs* e condutores de longo curso necessários em simultâneo), consoante o intervalo de *DSP*.

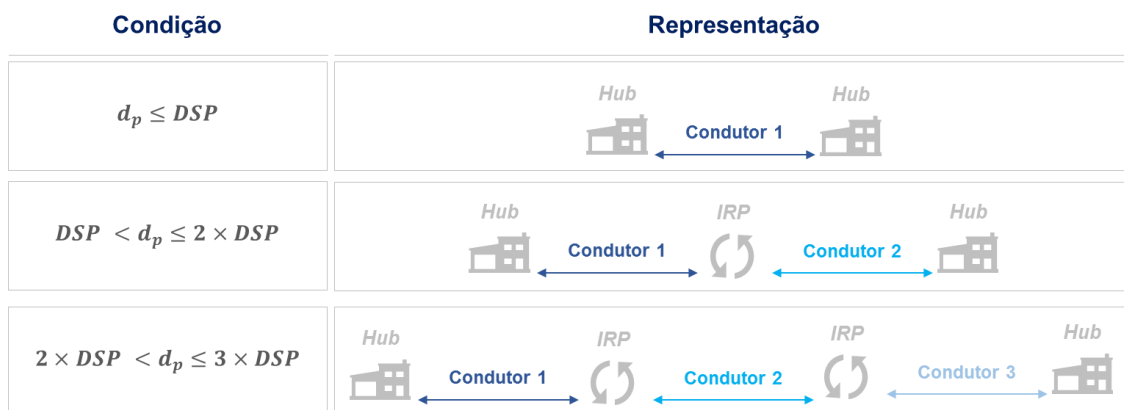


Figura 4-10: Esquematização de *pipelines* por intervalo de *DSP*

A título exemplificativo, no caso de um condutor poder, por turno, percorrer até 800 km, a distância entre *relay points* não deverá exceder os 400 km (metade do turno). Se o comprimento do *pipeline* for de 1.100 km, então serão necessários 2 *IRPs* e 3 condutores.

O exemplo fornecido evidencia a existência de *folga de pipeline*, que é dada pelo intervalo entre a máxima distância que os 3 condutores podem efetuar ($800 \times 3 = 2.400 \text{ km}$) e a distância que efetivamente percorrem (1.100×2 (*sentidos do pipeline*) = 2.200 km). O diferencial de 200 km representa então a folga de *pipeline*, a que corresponde um determinado número de horas-homem desaproveitados, ao qual deverá ser imputado um custo.

Tomando ainda como referência o caso da implementação de 2 *hubs* na Figura 4-10, verifica-se que o condutor 2 apenas circula entre *IRPs*, podendo representar um problema em certas empresas por não estacionar o veículo num parqueamento da empresa no final do seu turno de trabalho. Em alternativa, poderá averiguar-se a existência de um possível *hub* numa das duas regiões que apresentam os *IRPs* e substituir um *IRP* pelo *hub* da região (alternativa 1 da Figura 4-11). Outra solução consiste em considerar apenas 2 condutores, sendo que um deles terá de pernoitar junto ao local que serviria para *IRP* (alternativa 2 da Figura 4-11), embora esta alternativa não permita reduzir, de forma tão favorável, o número de dormidas “em estrada” face ao cenário inicial ou em comparação com a alternativa 1.

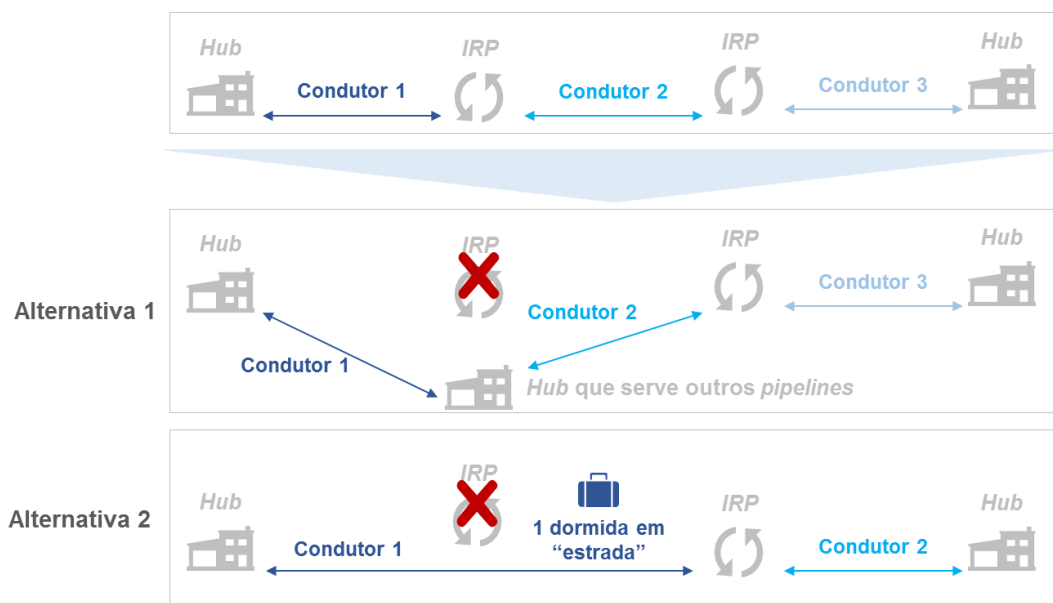


Figura 4-11: Alternativas à implementação de 2 *IRPs* consecutivos

4.2.4. Fase IV: Dimensionamento da capacidade dos *pipelines*

Esta etapa consiste no dimensionamento da capacidade dos *pipelines* a implementar. Em função da capacidade instalada, mais ou menos fretes poderão circular por *relay points*, permitindo mais ou menos dormidas de condutores nos seus domicílios.

Devido às oscilações de procura diária, seria idealmente necessário um número variável de condutores para satisfazer essa procura. Contudo, alocar um número diferente de condutores em cada dia de operação dificultaria o planeamento operacional da empresa. Deste modo, será determinada uma capacidade fixa de fretes para cada *pipeline*.

Assim, sempre que a procura de fretes exceda a capacidade definida para o *pipeline*, os fretes em excesso permanecerão no *hub* para o dia seguinte a fim de aguardarem pela sua entrada no *pipeline*. Se, ainda assim, os fretes do dia anterior continuarem a exceder a capacidade do *pipeline*, os que não seguirem por *pipeline* seguirão por expedição ponto-a-ponto (Figura 4-12). Esta medida permitirá evitar atrasos na entrega da mercadoria ao cliente. A expedição de fretes nos *hubs* deverá então adotar a metodologia FIFO (*first in, first out*) – *i.e.*, deverão ser expedidos pela ordem de entrada no *hub*.

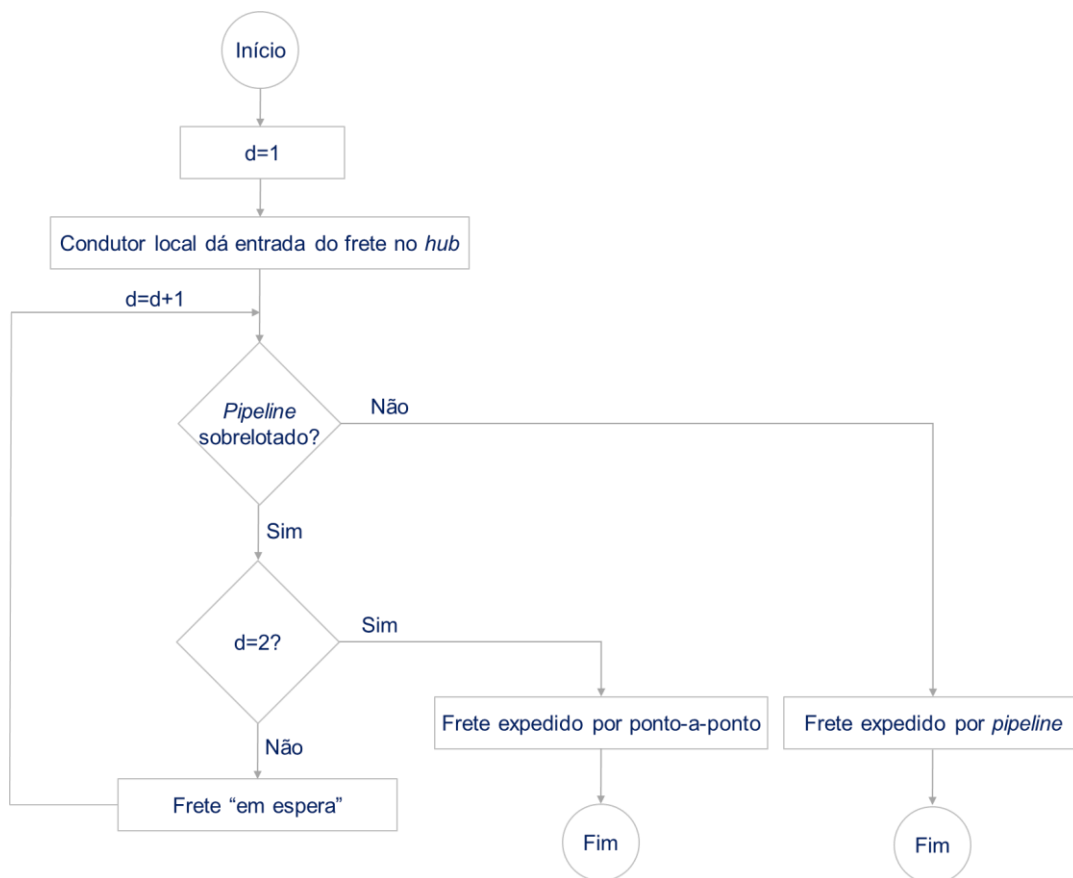


Figura 4-12: Processo de seleção de expedição

A capacidade a instalar nos *pipelines* deverá ser nivelada por um racional económico de modo a que:

- Existam sempre fretes a circular em ambos os sentidos, evitando viagens em vazio;
- Não ocorram episódios de falta de fretes para transportar em ambos os sentidos, para que os condutores de longo curso não permaneçam “parados” no *hub*, situação designada por *folga de equipa*.

Ambas as situações enunciadas visam garantir a viabilidade da expedição por *pipeline*. No entanto, dada a oscilação de procura diária, é tolerável que pontualmente existam viagens em vazio e folgas de equipa, ou seja, que se verifique alguma capacidade excedentária.

A capacidade a instalar será então determinada através da procura de fretes das ligações que constituem o *pipeline* (capacidade utilizada), acrescida da capacidade excedentária.

O problema de dimensionamento da capacidade pode ser descrito através de um algoritmo em programação não-linear. O algoritmo apresentado seguidamente considera a capacidade excedentária como um parâmetro em percentagem (*CE*), para uma capacidade total de número de fretes desconhecida *a priori*. Por exemplo, considerando *CE* no máximo de 5%, então, pelo menos, 95% da capacidade instalada será efetivamente utilizada.

4.2.4.1. Descrição do algoritmo

A função objetivo (4.9) pretende maximizar o número de fretes a circular no *pipeline p* (N_p).

$$\text{Max } N_p, \forall p \quad (4.9)$$

Conjuntos

- Conjunto de dias t
- Conjunto de *hubs* h que pertencem ao *pipeline p*

Parâmetros

- Número de fretes com origem em h e destino h' no dia t ($F_{h,h',t}$)
- Número de fretes com origem em h e destino h' no dia $t - 1$ ($F_{h,h',t-1}$), quando $F_{h,h',t-1} > N_p$

- Capacidade excedentária tolerada, em % (CE)

Variáveis de decisão

- Número de fretes a circular por dia no *pipeline* p (N_p) (variável inteira)

Restrições

- Número de fretes a circular no *pipeline* p para o conjunto dos dias t terá que ser igual ou superior a $N_p \times T \times (1 - CE)$

4.2.5. Fase V: Análise de viabilidade

A última etapa corresponde à análise de viabilidade da rede de *pipelines* criada, comparando com a expedição ponto-a-ponto.

Primeiramente, será necessário estimar o número de dormidas “em estrada” evitadas com a rede desenhada. Quanto maior for a distância entre a origem e o destino de um frete expedido por *pipeline*, será tendencialmente maior o número de estadias evitadas “em estrada”.

Após estimado o número de dormidas evitadas, é possível efetuar uma análise económica do modelo proposto. Para tal, serão determinadas as poupanças geradas em comparação com o atual sistema, assim como custos acrescidos com o novo método de expedição.

As poupanças poderão resultar de duas situações, essencialmente:

- (i) Das dormidas evitadas em estrada: evitando o pagamento aos condutores de ajudas de custo, subsídios ou remunerações acrescidas por deixarem de pernoitar fora do local de residência, e eventuais custos de alojamento e estacionamento dos veículos em parques públicos;
- (ii) Da redução do *turnover* de condutores, ainda que estas poupanças se obtenham a médio-longo prazo e sejam difíceis de estimar.

Por seu turno, os custos operacionais variáveis no transporte de mercadorias respeitam fundamentalmente: combustível, remuneração auferida pelos condutores, portagem e gastos de manutenção. No modelo proposto estes custos poderão advir face ao modelo atual de:

- (i) Acréscimos de distâncias efetuadas que o modelo pressupõe;
- (ii) Viagens em vazio efetuadas;

- (iii) Folgas de equipa;
- (iv) Folgas de *pipelines*.

Poderão ainda ser identificados custos de CAPEX resultantes da implementação de *hubs* ou da deslocalização de instalações da empresa.

5. Aplicação e resultados do modelo

No presente capítulo são criados diversos cenários para aplicação do modelo desenvolvido e comparados os resultados obtidos com o atual sistema ponto-a-ponto, considerando, para tal, os dados da amostra de fretes recolhida da empresa Luís Simões.

5.1. Apresentação da empresa

Com mais de 60 anos de atividade, a Luís Simões é hoje líder no mercado nacional do transporte de mercadorias, assim como no fluxo transfronteiriço Portugal – Espanha. Para além da atividade de transporte, atua paralelamente em soluções de logística e noutros negócios complementares, gerindo uma frota superior a 2.000 veículos, 10 centros de operações de transporte e outras 35 instalações, possibilitando a realização de mais 3.700 rotas de distribuição diariamente.

Em 2015, o volume de negócios do grupo ascendeu a €220 milhões, valor alinhado com a tendência de crescimento verificada nos últimos anos, e a atividade de transporte contribuiu em 52% para a faturação do grupo. Porém, o lucro gerado representou apenas 0,9% do volume de negócios, evidenciando uma situação problemática de reduzida rentabilidade.

No negócio de transporte rodoviário de mercadorias, a Luís Simões presta um âmbito alargado de serviços em diversos setores de atividade, com destaque para o transporte de carga completa e fracionada.

5.2. Amostra de fretes recolhida

Dado o contexto do problema, procedeu-se à recolha dos dados de fretes de carga completa da Luís Simões. A zona piloto definida para aplicação do modelo compreendeu a Península Ibérica, zona em que a Luís Simões detém uma forte presença e procura de clientes. A amostra recolhida compreendeu 2.018 fretes e resultaram da operação efetuada entre Novembro de 2014 e Janeiro de 2015 (aproximadamente 3 meses). Os fretes considerados circularam entre os 2 países em análise.

A base de dados extraída pela empresa compreendeu as seguintes informações para cada frete:

- Nome do cliente;
- ID do frete a transportar;

- Informação de recolha do frete: coordenadas geográficas, código postal e país do local de origem e data da recolha;
- Informação de entrega do frete: coordenadas geográficas, código postal e país do local de destino e data de entrega.

A Figura 5-1 ilustra, a título exemplificativo, a informação cedida de 3 fretes.

ID do frete	Cliente	Data de recolha	Latitude de recolha	Longitude de recolha	Cód. postal de recolha	País de recolha	Data de entrega	Latitude de entrega	Longitude de entrega	Cód. postal de entrega	País de entrega
432989610	SAICA - S.A.INDUSTRIAS CELULOSA ARA (S78)	09-01-2015	41,662795	-0,862747	50014	ESP	13-01-2015	40,845438	-8,648427	3880-102	PT
432989810	SAICA - S.A.INDUSTRIAS CELULOSA ARA (S78)	09-01-2015	41,662795	-0,862747	50014	ESP	13-01-2015	40,845438	-8,648427	3880-102	PT
433093110	SAICA - S.A.INDUSTRIAS CELULOSA ARA (S78)	10-01-2015	41,563931	-0,729523	50730	ESP	13-01-2015	39,749533	-8,807683	2400-445	PT

Figura 5-1: Base de dados

5.3. Cenários de análise

Foram estabelecidos 4 cenários para aplicação do modelo proposto, detalhados na Tabela 5-1, que diferem de acordo com o número de *hubs* a implementar (2 ou 3 *hubs*) e o número de regiões máximo que cada *hub* pode servir (uma ou duas regiões). Considerou-se instalar no máximo 3 *hubs*, a fim de garantir que o modelo desenvolvido é sobretudo aplicado em zonas de maior procura.

Tabela 5-1: Cenários considerados

Cenário	Descrição	Representação
#1 2H-2R	2 <i>hubs</i> , sendo que cada <i>hub</i> serve uma região apenas (máx. 2 regiões)	
#2 2H-4R	2 <i>hubs</i> , sendo que cada <i>hub</i> serve até duas regiões (máx. 4 regiões)	
#3 3H-3R	3 <i>hubs</i> , sendo que cada <i>hub</i> serve uma região apenas (máx. 3 regiões)	
#4 3H-6R	3 <i>hubs</i> , sendo que cada <i>hub</i> serve até duas regiões (máx. 6 regiões)	

Legenda: ● *Hub* ■ Região

De salientar que no cenário #1, os 2 *hubs* a implementar servem no total duas regiões, pelo que se verificará uma ligação apenas a seguir no *pipeline*; por seu turno, o cenário #4 permitirá garantir uma cobertura geográfica até 55% da atividade ibérica da Luís Simões (6 em 11 regiões).

5.4. Considerações de parâmetros do modelo

A presente secção visa descrever a abordagem definida para estimar diversos parâmetros do modelo.

5.4.1. Distâncias ponto-a-ponto

A base de dados fornecida não contempla o registo da distância que os fretes efetuam atualmente pela expedição ponto-a-ponto. No entanto, este indicador é necessário para estimar, na fase III, o acréscimo de distância dos fretes que seguirão por *pipeline* face ao modelo atual.

Dado o elevado volume de fretes analisados, optou-se por calcular as distâncias de forma simplificada, em detrimento do cálculo manual de cada uma. Para tal, recorreu-se à fórmula (4.6), indicada para estimar a distância entre dois pontos, considerando o *FCO* (fator de conversão de graus para quilómetros) de 87 e *FCI* (fator de circuito) de 1,25, conforme se segue:

$$Dis_{ab} = \sqrt{(lon_a - lon_b)^2 + (lat_a - lat_b)^2} \times 87 \times 1,25 \text{ em que:} \quad (5.1)$$

O valor 87 foi obtido através da fórmula $\frac{2\pi \times 6378 \times \cos 39^\circ}{360^\circ}$, em que 6.378 km respeita o raio equatorial da terra e 39° refere-se à latitude à qual se pretende obter a conversão.

O valor 1,25 refere-se ao fator de circuito, determinado a partir dos 30 trajetos mais efetuados na amostra considerada. Para cada trajeto, calculou-se a distância através do Google Maps. Posteriormente, igualou-se a distância obtida à fórmula (4.6), em ordem ao fator de circuito. Após determinar-se o fator de circuito para os 30 trajetos, efetuou-se a média ponderada desses fatores, obtendo-se o valor de 1,25. O Anexo A lista os 30 trajetos selecionados, assim como os fatores de circuitos obtidos para cada um.

5.4.2. Distância percorrida por turno

A distância percorrida por turno pelos condutores permite estimar dois parâmetros do modelo: a distância máxima entre *relay points* (*DSP*) e a distância limite local (*DLL*).

O número de horas por turno é definido com base no regulamento (CE) n.º 561/2006, que estabelece regras em matéria de tempos de condução, pausas e períodos de repouso para condutores de veículos pesados na União Europeia. Em termos generalistas, o regulamento indica que os condutores não deverão exceder 9 horas diárias de condução,

gozando uma pausa ininterrupta de, pelo menos, 45 minutos ao final de quatro horas e meia de condução.

Considera-se, nesta via, que um turno pressupõe 9 horas de condução/trabalho.

Por outro lado, estipulou-se uma hora para cada operação de recolha ou entrega da mercadoria do veículo no cliente, em consonância com os tempos usualmente despendidos nestas operações pela empresa. Deste modo, os condutores locais poderão conduzir, no máximo, 8 horas por turno.

A Luís Simões limita os seus veículos a uma velocidade máxima de 85 km/h, embora para o caso em estudo a velocidade considerada tenha sido de apenas 70 km/h. Ainda que grande parte do percurso dos fretes seja efetuado através de vias rápidas, convém ter em consideração que a maioria das instalações dos clientes localiza-se junto a centros urbanos, zonas que registam maior intensidade de tráfego. Por outro lado, até alcançarem as vias rápidas, os veículos circulam por localidades, nas quais não é permitido exceder a velocidade de 50 km/h.

Neste seguimento, a distância limite local (*DLL*) considerada, pela aplicação da fórmula (4.4), foi de 280 km, assumindo um turno de 9 horas de trabalho, uma velocidade média do veículo de 70 km/h e uma hora para a operação de entrega/recolha da mercadoria no cliente. Os 280 km permitirão ao condutor local deslocar-se até ao cliente e regressar ao *hub* no final do seu turno (Figura 5-2).

Por sua vez, os condutores de longo curso poderão percorrer até 630 km por jornada de trabalho. Neste sentido, a distância máxima entre *relay points* (*DSP*), pela aplicação da fórmula (4.7), não deverá exceder os 315 km (metade de um turno), para que os condutores possam alcançar o *relay point* seguinte e regressar ao *hub*, no mesmo turno, conforme ilustra a Figura 5-2.

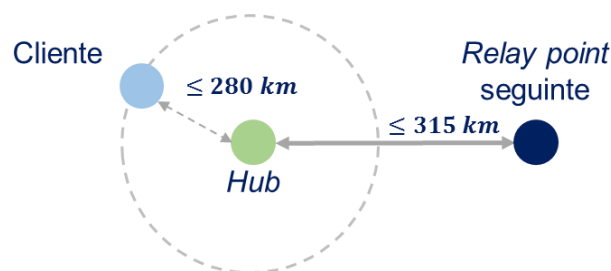


Figura 5-2: *DSP* e *DLL* considerados no caso em análise

5.4.3. Dormidas “em estrada” por frete

Na Fase V dos diversos cenários formulados, será necessário estimar o número de dormidas “em estrada” evitadas por cada frete entregue por *pipeline*. Este valor advém do número de estadias “em estrada” que atualmente cada um desses fretes necessita para ser entregue pelo atual sistema ponto-a-ponto.

O número de dormidas “em estrada” de condutores no atual sistema foi estimado com base no tempo envolvido para a recolha, movimentação e entrega do frete, seguindo a metodologia definida na Figura 5-3. Deste modo, o número de dormidas imputado ao frete é obtido em função do número de turnos que cada frete “consome”, e este valor é dado, por sua vez, pela quantidade “consumida” de horas-homem (dos condutores).

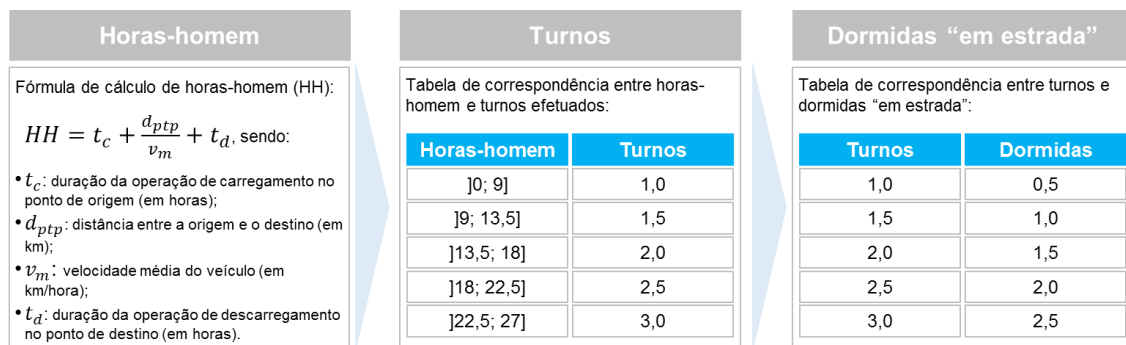


Figura 5-3: Determinação do número de dormidas “em estrada” por frete no sistema atual

A primeira etapa consiste em estimar o número de horas-homem para as operações de recolha e entrega de frete no cliente e para o movimento do frete ao longo do trajeto (do ponto de origem para o ponto de destino).

A segunda etapa consiste em determinar o número de turnos a que correspondem as horas-homem consumidas, considerando que cada turno envolve 9 horas de trabalho.

A terceira etapa corresponde ao número de dormidas “em estrada” imputado ao frete, que é dado pelo número de turnos consumidos pelo respetivo frete subtraído por 0,5. Ao último turno que antecede o regresso ao domicílio do condutor não é imputada dormida “em estrada”, visto que o condutor pernoita “em casa” no final dessa jornada. Deste modo, aparentemente deveria subtrair-se por 1 e não por 0,5 ao número de turnos efetuados para determinar as dormidas “em estrada”. Contudo, a expedição do frete constituiu apenas numa parcela da viagem do condutor desde que saiu de casa até ter regressado, *i.e.*, representou uma ida ou uma volta, sendo então imputado ao frete a analisar 0,5 apenas.

A Figura 5-4 ilustra para 3 exemplos de fretes, a metodologia definida para estimar o número de dormidas “em estrada” necessárias para a entrega dos mesmos.

ID do frete	Latitude de recolha	Longitude de recolha	País de recolha	Latitude de entrega	Longitude de entrega	País de entrega	Distância PtP (km)	Horas-homem	Turnos	Dormidas
432989610	41,662795	-0,862747	ESP	40,845438	-8,648427	PT	853	15	2	1,5
431552210	40,295879	-3,697826	ESP	41,235735	-8,530855	PT	537	10	1,5	1,0
432733810	42,170801	-1,689433	ESP	41,352079	-8,747268	PT	774	14	2,0	1,5

Figura 5-4: Dormidas “em estrada” imputadas aos fretes

5.4.4. Custos unitários

Para analisar a viabilidade dos cenários na fase V é necessário identificar os custos operacionais da atividade de transporte.

Os custos resultantes dos condutores pernoitarem “fora de casa” devem-se, essencialmente, à remuneração a pagar ao condutor por essa estadia e a custos de estacionamento do veículo em zonas com vigilância, assim como de alojamento (copa, balneários, etc.) para o condutor usufruir (Tabela 5-2).

Tabela 5-2: Rubricas de custos resultantes de dormidas “em estrada”

Rubrica	Descrição	Custo
Remuneração - condutor	Ajudas de custo, subsídios e horas-extra pagos aos condutores por pernoitarem atualmente “em estrada”	32,00€ / dormida
Parqueamento/ alojamento	Custos de estacionamento do veículo e de utilização de infraestruturas de alojamento pelo condutor quando pernoita “em estrada”	17,00€ / dormida

Por outro lado, importa estimar os custos de mão-de-obra (condutores). Considera-se o custo de hora-homem de 7,71€/h, valor de referência fornecido pela empresa, e calculado com base num salário e encargos de 1.200€/mês.

O custo por quilómetro percorrido do veículo estimado é de 0,64€/km, contemplando as rubricas de combustível, pessoal, portagem e manutenção (Tabela 5-3).

Tabela 5-3: Rubricas do custo por quilómetro percorrido

Rubrica	Custo (€/km)
Combustível	0,37
Condutor	0,11
Portagem	0,12
Manutenção	0,04
Total	0,64

O custo do combustível resultou do preço por litro de gasóleo (1,22€/l, de acordo com a fonte PORDATA, 2015) e do consumo de combustível do veículo estipulado em 30 litros por 100 km percorridos (em consonância com os consumos verificados em veículos mais recentes).

5.5. Resultados obtidos

A presente secção descreve os resultados obtidos para cada fase do modelo desenvolvido, na ótica dos cenários de análise criados e tomando em consideração os parâmetros definidos. De realçar que os algoritmos descritos foram formulados no comando *Solver* do *Microsoft Excel*, visando garantir a obtenção de soluções ótimas.

O Anexo B apresenta a estrutura da folha de cálculo do *Microsoft Excel* desenvolvida e a janela do comando *Solver* para os diversos algoritmos.

5.5.1. Fase I: Análise de procura

A aplicação da Fase I do modelo proposto, que analisa a procura de fretes da amostra selecionada, é transversal a todos os cenários considerados, pelo que o *output* desta fase é comum a todos eles.

De entre os 2.018 fretes recolhidos, considerou-se ser necessário eliminar os fretes que não cumpriam os requisitos para integrar redes por *relay points*, nomeadamente:

- O frete apresentar mais do que um ponto de recolha ou de entrega;
- A distância entre o ponto de recolha e entrega ser relativamente próxima, a ponto de o condutor não ter que pernoitar “em estrada”.

Neste sentido, foram desprezados 21 fretes, reduzindo a amostra selecionada para 1.997 fretes.

A primeira etapa consistiu na divisão da Península Ibérica em regiões (de 2º em 2º de latitude e longitude), localizando os pontos de origem e de destino dos fretes selecionados nas respetivas regiões, através das suas coordenadas geográficas.

Foram identificadas 11 regiões com procura de fretes, discriminadas na Figura 5-5.



Figura 5-5: Regiões com procura de fretes

Dos 1.997 fretes analisados, 49% tiveram como origem Portugal, sugerindo um equilíbrio de fretes no fluxo transfronteiriço Portugal – Espanha.

Contudo, denota-se um desequilíbrio assinalável na procura de fretes por regiões. Em Portugal, a região Norte-litoral concentrara 42% da procura, ao passo que em Espanha as regiões de Madrid, Saragoça e País Basco revelaram uma procura conjunta de 40%, conforme ilustra a Figura 5-6.

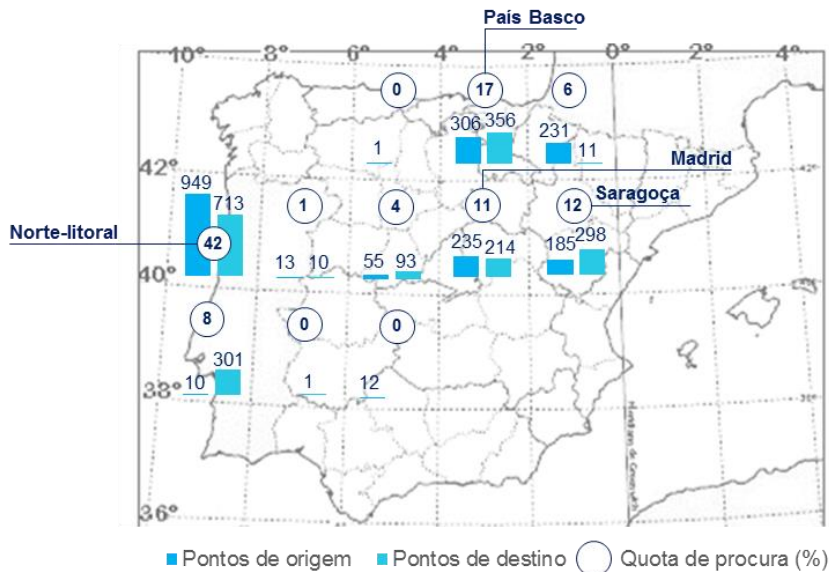


Figura 5-6: Procura de fretes por região

Foram identificadas 18 ligações, listadas na Tabela 5-4, das quais 11 apresentam uma procura residual conjunta de 2,5% do total de fretes analisados. Por oposição, a ligação L45 (Norte-litoral – País Basco) lidera o *ranking* de procura, registando uma quota em torno dos 27% e totalizando 536 fretes transportados. Segue-se a ligação L47 (Norte-litoral – Saragoça) com 24% de procura e a L43 (Norte-litoral – Madrid) com uma quota superior a 22%.

Em termos de *load imbalance*, verifica-se genericamente um desequilíbrio bastante evidente na procura de fretes entre os sentidos das ligações (Tabela 5-4). As ligações L24, L25, L45 e L47 suscitam particular preocupação, por registarem um elevado número de fretes de *load imbalance* (superior a 100 fretes cada uma das ligações). Por seu turno, as ligações com *load imbalance* de 100% não revelam especial importância, visto registarem uma procura bastante reduzida.

Tabela 5-4: Ligações identificadas

		Portugal											
		Centro-litoral			Norte-litoral			Centro-interior			Norte-interior		
		Saída	Entrada	Total	Saída	Entrada	Total	Saída	Entrada	Total	Saída	Entrada	Total
Espanha	Cidade Real/Toledo	0	0	0	0	10	10	0	0	0	0	2	2
	Valadoli	8	2	10	82	53	135	0	0	0	3	0	3
	Madrid	0	0	0	210	235	445	0	0	0	4	0	4
	Saragoça	0	4	4	292	181	473	0	0	0	6	0	6
	Burgos	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	País Basco	1	119	120	355	181	536	0	0	0	0	6	6
	Navarra	1	175	176	10	53	63	0	1	1	0	2	2

Ligação	Par de regiões		Procura de fretes					
	Região de Portugal (PT)	Região de Espanha (ESP)	Total	Sentido PT > ESP	Sentido ESP > PT	<i>Load imbalance</i>	Quota de procura	
L26	Centro-litoral	Valadoli	10	8	2	6	60%	0,5%
L27	Centro-litoral	Saragoça	4	0	4	4	100%	0,2%
L21	Centro-litoral	Burgos	1	0	1	1	100%	0,1%
L25	Centro-litoral	País Basco	120	1	119	118	98%	6,0%
L24	Centro-litoral	Navarra	176	1	175	174	99%	8,8%
L42	Norte-litoral	Cidade Real/Toledo	10	0	10	10	100%	0,5%
L46	Norte-litoral	Valadoli	135	82	53	29	21%	6,8%
L43	Norte-litoral	Madrid	445	210	235	25	6%	22,3%
L47	Norte-litoral	Saragoça	473	292	181	111	23%	23,7%
L45	Norte-litoral	País Basco	536	355	181	174	32%	26,8%
L44	Norte-litoral	Navarra	63	10	53	43	68%	3,2%
L14	Centro-interior	Navarra	1	0	1	1	100%	0,1%
L32	Norte-interior	Cidade Real/Toledo	2	0	2	2	100%	0,1%
L36	Norte-interior	Valadoli	3	3	0	3	100%	0,2%
L33	Norte-interior	Madrid	4	4	0	4	100%	0,2%
L37	Norte-interior	Saragoça	6	6	0	6	100%	0,3%
L35	Norte-interior	País Basco	6	0	6	6	100%	0,3%
L34	Norte-interior	Navarra	2	0	2	2	100%	0,1%
Total			1.997	972	1.025		719	100%

Os principais fluxos de fretes entre regiões encontram-se ilustrados na Figura 5-7. Considera-se o Norte de Espanha (País Basco e Navarra) como importante polo emissor de fretes para o Centro-litoral (PT) (a azul-claro no mapa). O Norte-litoral (PT) e Madrid (ESP) registam uma elevada troca de fretes, ao passo que a região Norte de Portugal

posiciona-se também como um polo emissor de fretes para o País Basco (ESP) e Saragoça (ESP) (fluxos assinalados a azul-escuro no mapa). Em jeito de conclusão, verifica-se uma forte concentração de clientes nas regiões Centro e Norte da Península Ibérica.

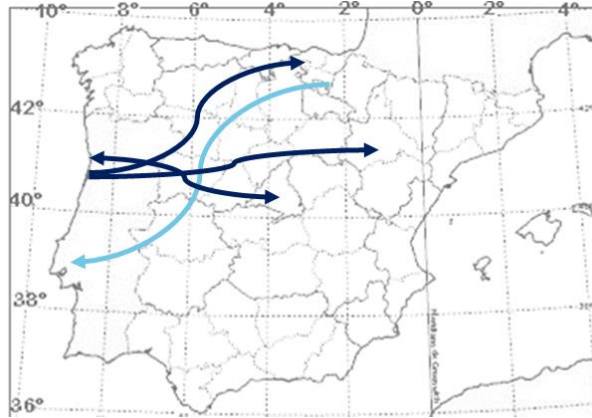


Figura 5-7: Principais fluxos de fretes entre regiões

As coordenadas geográficas das extremidades de cada ligação, listadas na Tabela 5-5, foram determinadas através da média aritmética simples das coordenadas dos pontos de origem ou destino dos fretes que compõem a respetiva ligação.

Tabela 5-5: Coordenadas geográficas das extremidades das ligações

Ligação	Região de Portugal (PT)			Região de Espanha (ESP)		
	Região	Latitude	Longitude	Região	Latitude	Longitude
L26	Centro-litoral	39,6935	-8,8108	Valadoli	41,8758	-4,5424
L27	Centro-litoral	39,5965	-8,7794	Saragoça	41,6552	-0,7717
L21	Centro-litoral	39,4946	-8,5541	Burgos	42,7932	-4,2622
L25	Centro-litoral	39,2716	-8,8677	País Basco	43,1160	-2,4793
L24	Centro-litoral	39,1586	-8,8165	Navarra	42,6317	-1,6905
L42	Norte-litoral	41,3330	-8,6111	Cidade Real/Toledo	39,8576	-4,0274
L46	Norte-litoral	41,1852	-8,5510	Valadoli	41,7153	-4,5978
L43	Norte-litoral	41,2131	-8,5793	Madrid	40,3634	-3,5954
L47	Norte-litoral	40,6955	-8,6377	Saragoça	41,6198	-0,8534
L45	Norte-litoral	40,3790	-8,7728	País Basco	42,6738	-2,2807
L44	Norte-litoral	40,6147	-8,7313	Navarra	42,6852	-1,7220
L14	Centro-interior	39,7049	-7,7057	Navarra	42,8297	-1,5904
L32	Norte-interior	41,2558	-7,4127	Cidade Real/Toledo	39,8563	-4,0274
L36	Norte-interior	40,4275	-7,9996	Valadoli	41,8758	-4,5424
L33	Norte-interior	41,6340	-7,5729	Madrid	41,6692	-3,6902
L37	Norte-interior	41,2919	-7,3982	Saragoça	41,5639	-0,7295
L35	Norte-interior	40,4622	-7,8309	País Basco	42,3584	-2,5475
L34	Norte-interior	40,4275	-7,9996	Navarra	42,0669	-1,6096

5.5.2. Cenários de 2 hubs

Os cenários #1 e #2 respeitam a implementação de 2 *hubs*, servindo duas e 4 regiões, respetivamente. Apresenta-se, de seguida, os resultados obtidos pela aplicação das fases II a V do modelo desenvolvido para estes cenários.

A Fase II consiste em aplicar o algoritmo para a criação de *pipelines*. Como supracitado, o racional do algoritmo tem como objetivo a combinação de ligações próximas para a formação de *pipelines*, procurando maximizar o potencial número de fretes a circular por *pipelines* (α).

Os resultados gerados pelo algoritmo encontram-se detalhados nas Figura 5-8 e Figura 5-9. No cenário #1, o algoritmo selecionou a ligação L43 para formar o *pipeline*, ou seja, considerou os fretes desta ligação como fretes potenciais à expedição por *relay points*, mantendo todas as outras ligações por ponto-a-ponto. A seleção da L43 é facilmente depreendida, visto apresentar o maior α entre as ligações identificadas (α de 420 fretes para o período analisado – 21% da procura total).

Para o cenário #2, selecionou as ligações efetuadas entre as regiões Norte-litoral e Centro litoral (PT) e as regiões Madrid e País Basco (ESP) – L25, L43 e L45 – para a formação do *pipeline*, conforme ilustra a Figura 5-8.

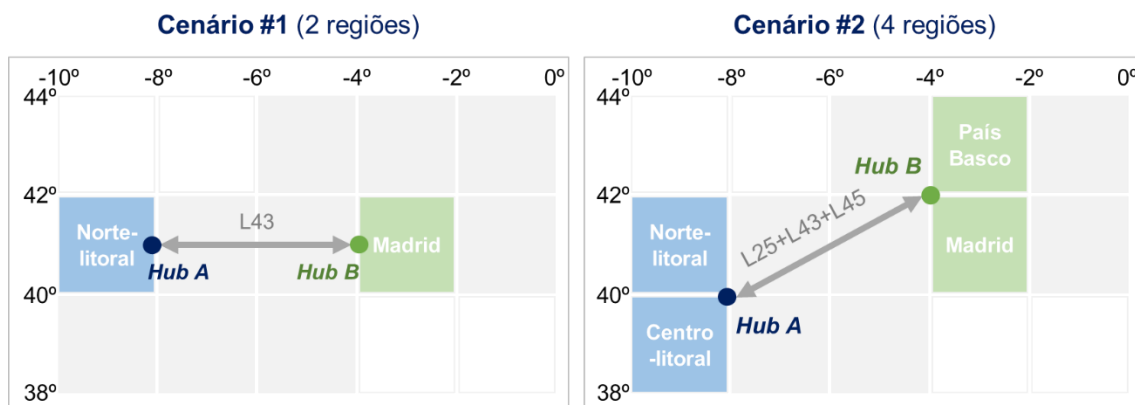


Figura 5-8: Cenários #1 e #2 – Regiões e ligações selecionadas

A combinação de ligações criando o *pipeline* no cenário #2 permitiu aumentar em 36% o número de fretes candidatos à adoção de *relay points*, pela diminuição do *load imbalance* em 90% (Figura 5-9). Ou seja, caso fossem instalados individualmente *relay points* em cada uma das ligações, apenas 784 fretes seriam candidatos a esta expedição dos 1.101 fretes possíveis (somatório dos fretes L25, L43 e L45), de forma a evitar viagens em

vazio, contrapondo com os 1.070 candidatos pela formação do *pipeline*. Tal se deve, sobretudo, ao emparelhamento das ligações L25 e L45: estas detinham um significativo desfalque de procura de fretes em sentidos opostos, que foi mitigado pela agregação de ambas. O potencial número de fretes a circular no *pipeline* é então 1.070, correspondendo a 54% do total de fretes analisados.

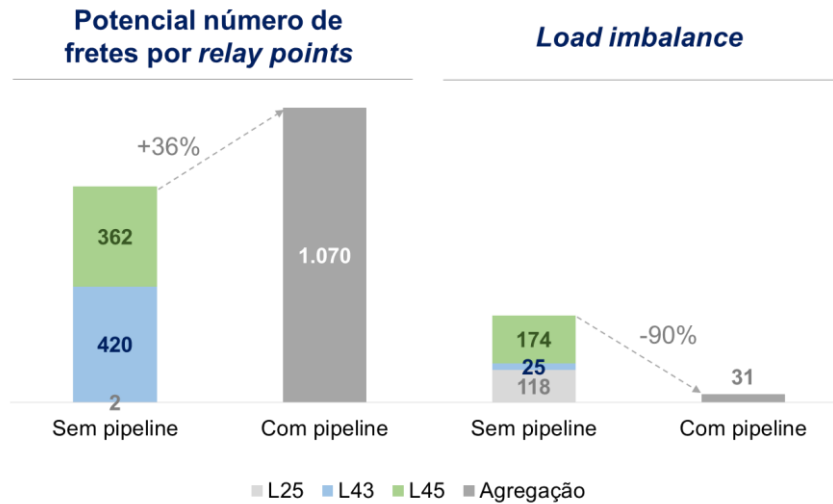


Figura 5-9: Cenário #2 - Resultados do algoritmo de criação de *pipelines*

Na fase III, aplicou-se o algoritmo descrito para localizar os *hubs*, atendendo à minimização do trajeto dos fretes e à restrição do raio de atuação de cada *hub*, que não deve exceder os 245 km.

As coordenadas geográficas, que correspondem à solução ótima, encontram-se enumeradas na Tabela 5-6 e ilustradas nos mapas da Figura 5-10. Como seria previsível, visto que no cenário #1 o *pipeline* apresenta apenas uma ligação, os *hubs* localizar-se-ão sobre as extremidades desta. Por seu turno, no cenário #3, o *hub* de Portugal localiza-se na região Norte-interior, ainda que esta região não tenha sido selecionada pelo algoritmo anterior. Tal ocorre na medida em que esta região funciona como “ponto de bifurcação” entre as regiões da zona litoral de Portugal. As linhas a tracejado no mapa representam os trajetos dos condutores locais (entre os clientes, representados pelo centroide da extremidade da ligação e o *hub*).

Tabela 5-6: Cenários #1 e #2 – Coordenadas geográficas da localização de *hubs*

Cenário	Localização do <i>hub</i> A				Localização do <i>hub</i> B			
	Latitude	Longitude	Região	Localidade	Latitude	Longitude	Região	Localidade
Cenário #1	41,212	-8,578	Norte-litoral	Porto	40,364	-3,596	Madrid	Madrid
Cenário #2	40,927	-7,669	Norte-interior	Castro Daire	41,714	-3,967	Madrid	Valadoli

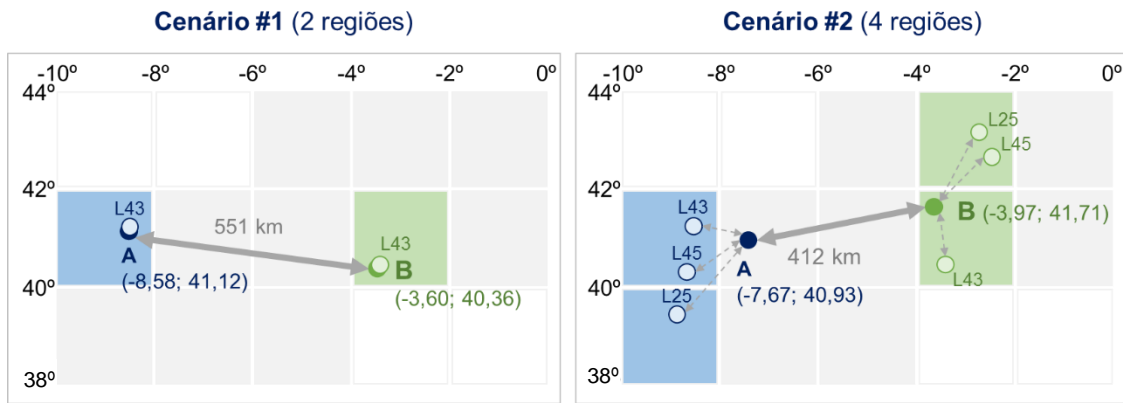


Figura 5-10: Cenários #1 e #2 – Localização dos *hubs* e comprimento de *pipelines*

Após a determinação da localização ótima para os *hubs* é possível indicar as distâncias entre estes, ou seja, o comprimento dos *pipelines*, que correspondem a 551 e 412 km para os cenários #1 e #2, respectivamente.

Ambos os *pipelines* excedem a distância máxima entre *relay points* (*DPS* de 315 km), embora não ultrapassem o dobro da *DPS* (630 km), obrigando então à implementação de 1 *IRP* em cada *pipeline* (situação ilustrada na Figura 5-11). Para cada *pipeline* funcionar serão necessários 2 condutores de longo curso, sendo que cada um percorrerá metade do *pipeline*, regressando seguidamente ao *hub*.



Figura 5-11: Cenários #1 e #2 – *Pipelines* com 1 *IRP*

Dado que cada condutor de longo curso pode percorrer até 630 km por turno e os *pipelines* apresentam distâncias inferiores, existirão folgas de *pipeline*: no cenário #1 estima-se uma folga de 1,13 horas-homem, ao passo que no cenário #2 alcança as 3,11 horas-homem.

Por outro lado, verifica-se um acréscimo de distância percorrida de 8,4% pelos fretes selecionados no cenário #2 para a expedição por *pipeline* face à situação atual (de 677 para 733 km), conforme sugere a Figura 5-12. Este incremento é justificado pelos desvios que os fretes efetuam em relação ao “caminho mais curto” para alcançarem os *hubs*. Por oposição, no cenário #1 não se verifica um acréscimo de distância: os fretes da ligação L41 continuam a percorrer, em média, 551 km, sendo que os *hubs* encontram-se instalados sobre o “caminho mais curto”.

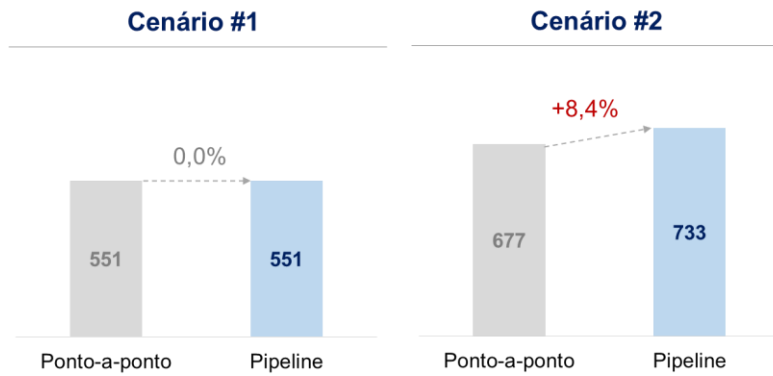


Figura 5-12: Cenários #1 e #2 – Acréscimo de distância (em km) entre expedições

De seguida, aplicou-se o algoritmo de dimensionamento de capacidade (fase IV), para uma capacidade excedentária máxima de 5%. Considerou-se apenas os dias de operação até 22 de Dezembro de 2014 (28 dias no total), uma vez que a partir dessa data verificou-se uma quebra acentuada de procura, devendo-se às festividades de Natal e Ano Novo.

A Tabela 5-7 apresenta os resultados obtidos pela solução ótima para os 28 dias de operação.

Tabela 5-7: Cenários #1 e #2 – Resultados do algoritmo de dimensionamento de capacidade

Cenário	Variável de decisão	Capacidade (em fretes, total de 28 dias)					Análise de expedições (em fretes)				Viagens em vazio
	N_p	Total	Utilizada	Excedentária		Pipeline		Ponto-a-ponto			
Cenário #1	10	280	268	95,7%	12	4,3%	268	68%	127	32%	6
Cenário #2	28	784	757	96,6%	27	3,4%	757	78%	217	22%	9

Verifica-se que o N_p (número máximo de fretes a circular por dia no *pipeline*) é de 10 fretes no cenário #1. Ou seja, o *pipeline* deverá permitir a movimentação diária de 5 fretes por sentido. Para os 28 dias de operação, verificou-se que 95,7% da capacidade instalada no *pipeline* foi utilizada, correspondendo à movimentação de 268 fretes (68% dos fretes analisados). Deste modo, conclui-se que no cenário #1 são expedidos 9,6 fretes diariamente por *pipeline*.

No cenário #2, a capacidade a instalar no *pipeline* é de 28 fretes por dia (mais 18 face ao cenário #1). Para o período analisado, 96,6% da capacidade instalada foi efetivamente utilizada para transportar 757 fretes (78% do total analisado), correspondendo a 27,0 fretes por dia de operação.

Através da análise de ambos os cenários, verifica-se que dos fretes candidatos a *pipeline*, um significativo número de fretes seguiu por ponto-a-ponto (32% no cenário #1 e 22% no cenário #2). A principal explicação reside no facto de ser estipulada uma capacidade

excedentária máxima, não permitindo satisfazer todos os fretes por *pipeline* em “picos” de procura. Considerando as Figura 5-13 e Figura 5-14, conclui-se que nos primeiros dias de operação do período simulado, registou-se uma elevada procura, que só pôde ser totalmente satisfeita recorrendo à expedição ponto-a-ponto.

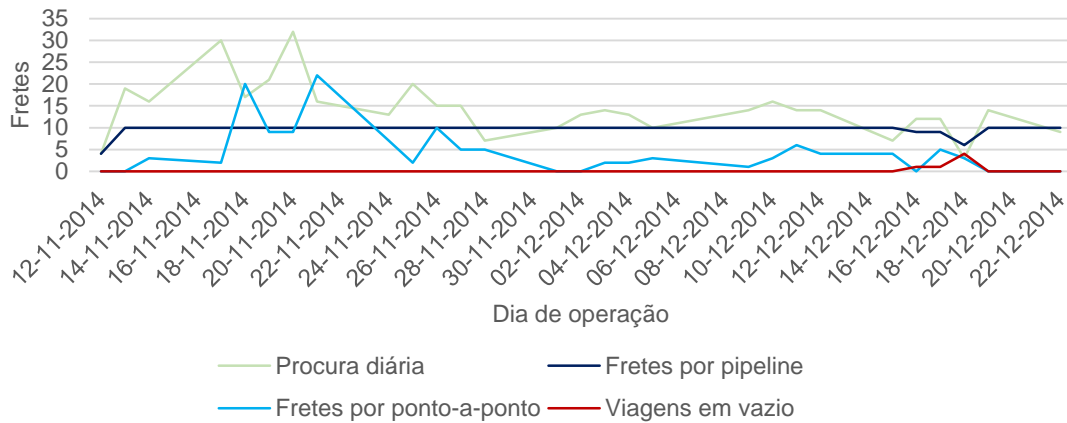


Figura 5-13: Cenário #1 – Análise da simulação de expedição

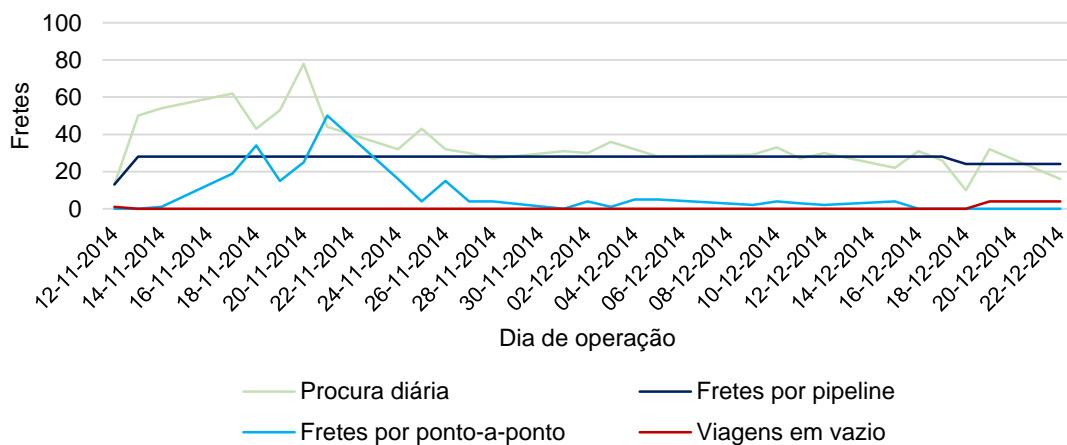


Figura 5-14: Cenário #2 – Análise da simulação de expedição

Por último, aplicou-se a fase V para analisar a viabilidade dos resultados gerados em ambos os cenários. A primeira etapa consistiu em determinar o número de dormidas evitadas “em estrada”, tendo em conta os fretes a seguirem por *pipeline*.

No caso do cenário #1, os fretes que irão ser expedidos por *pipeline* pertencem à ligação L43 (*output* da fase II). Aplicando a metodologia definida para apurar as dormidas “em estrada” (subsecção 5.4.3), verifica-se que atualmente cada frete pertencente à ligação L43 consome, em média, 10,2 horas-homem na expedição ponto-a-ponto, correspondendo, por sua vez, a 1,5 turnos e obrigando o condutor a pernoitar uma vez “fora-de-casa” (Tabela 5-8).

Tabela 5-8: Consumos por frete da ligação L43

Ligação	Horas-homem	Turnos	Dormidas "em estrada"
L43	10,2	1,5	1,0

Deste modo, tendo em conta que no cenário #1 serão expedidos diariamente por *pipeline* 9,6 fretes (*output* da fase IV), serão evitadas também 9,6 dormidas “em estrada”.

Por sua vez, o *pipeline* do cenário #2 é formado pelas ligações L25, L43 e L45. Cada frete deste conjunto de ligações consome atualmente, em média, 1,2 dormidas “em estrada” (Tabela 5-9). Uma vez que serão expedidos por *pipeline* 27 fretes diariamente, serão evitadas 32,4 dormidas “em estrada” ($27 \times 1,2$).

Tabela 5-9: Consumos por frete do conjunto de ligações L25, L43 e L45

Ligação	Horas-homem	Turnos	Dormidas "em estrada"	N.º de fretes
L25	14,1	2,0	1,5	120
L43	10,2	1,5	1,0	445
L45	13,3	1,8	1,3	536
Média ponderada	12,2	1,7	1,2	

Após estimado o número de dormidas evitadas, é possível efetuar uma análise económica do modelo proposto em cada cenário. Para tal, serão determinadas as poupanças geradas em comparação com o atual sistema, assim como custos acrescidos com o novo método de expedição.

As poupanças geradas resultam dos custos atuais das dormidas “em estrada” que serão evitadas com o modelo proposto. Por seu turno, os custos acrescidos resultam do acréscimo de distância que a expedição *pipeline* pressupõe face ao sistema ponto-a-ponto, viagens em vazio, folgas de *pipeline* e de equipa e ainda custos decorrentes dos fretes passarem pelos *hubs*.

Tomando como referência os custos unitários considerados na subsecção 5.4.4, são apresentados os resultados na Tabela 5-10 da análise efetuada na ótica de diferencial entre o modelo proposto e o atual, por dia de operação.

Tabela 5-10: Cenários #1 e #2 – Análise de viabilidade económica

Cenário	Custos evitados (1)		Custos acrescidos (2)				TOTAL (1 - 2)	
	Remuneração - condutor	Parqueamento/ alojamento	Acréscimo de distância	Viagens em vazio	Folga de <i>pipeline</i>	Folga de equipa		Stock no hub
Cenário #1	307 €	163 €	0 €	75 €	42 €	15 €	38 €	300 €
Cenário #2	1.037 €	551 €	971 €	84 €	324 €	45 €	108 €	56 €

Analisando os resultados, verifica-se que o cenário #1 aparenta ser o mais favorável, estimando-se uma poupança de 300€ por dia de operação, 5 vezes mais que o resultado gerado pelo cenário #2. Embora o cenário #2 garanta poupanças elevada resultantes do elevado número de dormidas “em estrada” evitadas, apresenta significativos custos face ao modelo atual, devido ao acréscimo de distância (mais 8,4% face à expedição ponto-a-ponto), para além dos custos associados à folga de *pipeline*.

5.5.3. Cenários de 3 hubs

Os cenários #3 e #4, seguidamente analisados, contemplam a instalação de 3 hubs, servindo 3 e 6 regiões, respetivamente. Os restantes parâmetros manter-se-ão inalterados face aos cenários de 2 hubs.

A aplicação do algoritmo de criação de *pipelines* (Fase II) atribuiu ao cenário #3, as duas ligações que registam maior α para *pipelines* – L43 e L47 (ambas com extremidades na região Norte-litoral – PT), conforme ilustra a Figura 5-15.

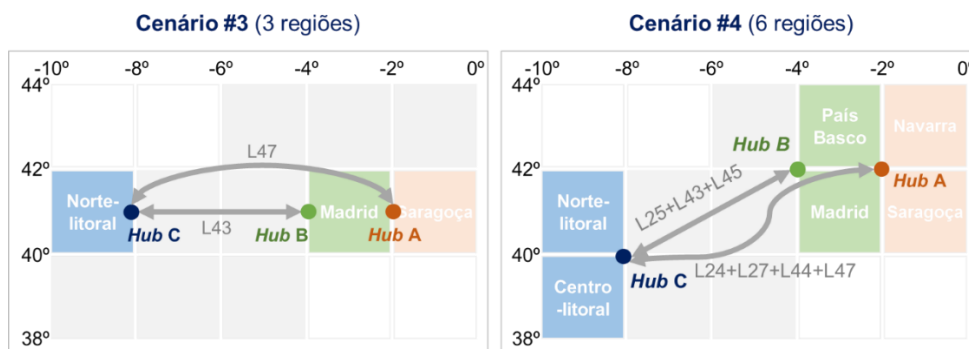


Figura 5-15: Cenários #3 e #4 – Regiões e ligações selecionadas

Para o cenário #4, selecionou 7 ligações: L25, L43 e L45 entre o hub C (afeto a Portugal) e o hub B, que servirá o País Basco e Madrid (ESP); e L24, L27, L44 e L47 entre o hub C e a instalação A que abastecerá as regiões de Navarra e Saragoça (ESP). Verifica-se que Portugal, em ambos os cenários, é servido apenas por 1 hub, enquanto Espanha dispõe de 2 hubs, o que é facilmente dedutível, visto Espanha apresentar uma procura mais dispersa e Portugal apresentar uma procura bastante concentrada na zona litoral.

De modo análogo ao cenário #1, o cenário #3 não contempla a agregação de ligações para formação dos *pipelines*, visto que cada *hub* apenas pode servir uma região e, nesta medida, cada *pipeline* apenas incluirá uma ligação. Por oposição, no cenário #4, os desequilíbrios de fretes entre sentidos são mitigados com a agregação de diversas ligações, gerando um maior α em comparação com o somatório dos α das ligações isoladas (Figura 5-16).

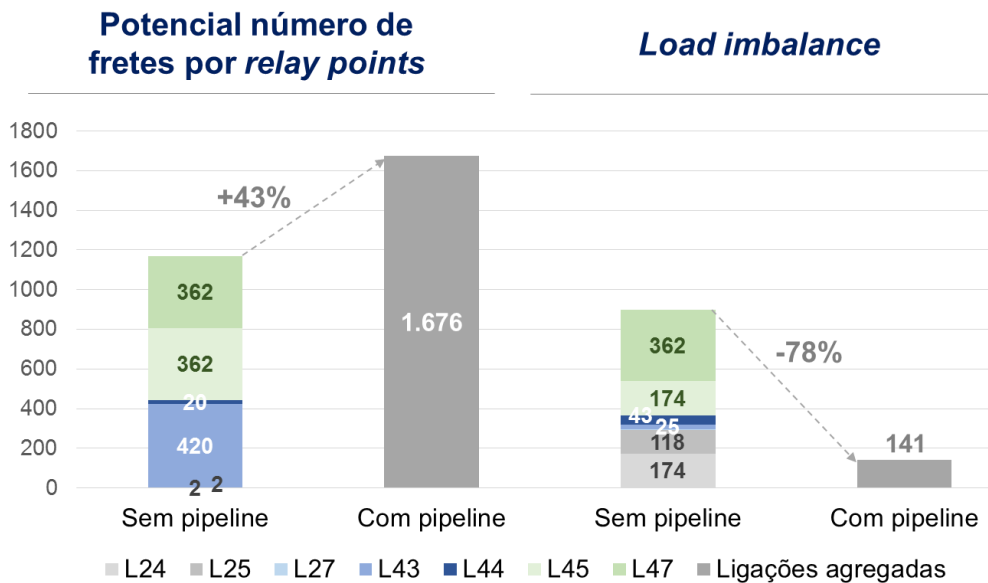


Figura 5-16: Cenário #4 - Resultados do algoritmo de criação de *pipelines*

Analisando o gráfico da Figura 5-16, verifica-se que antes da aplicação do algoritmo, apenas 1.168 fretes seriam potenciais candidatos à expedição por *relay points* (58% do total de fretes analisados). Após a execução do algoritmo, este número aumentou 43%, para 1.676 potenciais candidatos, correspondendo a 84% do total de fretes. Nesta via, o *load imbalance* reduziu 759 fretes (menos 78%). Conclui-se que este cenário permitirá de forma generalizada adotar a expedição por *pipelines* na zona piloto estudada.

A Tabela 5-11 apresenta as coordenadas geográficas dos *hubs*, obtidas pela solução ótima do algoritmo de localização de *hubs* (Fase III).

Tabela 5-11: Cenários #3 e #4 – Coordenadas geográficas da localização de *hubs*

Cenário	Localização do hub A				Localização do hub B				Localização do hub C			
	Latitude	Longitude	Região	Localidade	Latitude	Longitude	Região	Localidade	Latitude	Longitude	Região	Localidade
Cenário #3	41,557	-0,923	Saragoça	Saragoça	40,364	-3,596	Madrid	Madrid	40,892	-8,019	Norte-litoral	Castro Daire
Cenário #4	41,803	-2,513	Madrid	Soria	41,697	-3,950	Madrid	Valadoli	40,831	-7,649	Norte-interior	Castro Daire

A solução obtida pelo algoritmo gerou, no cenário #3, um *pipeline* bastante extenso de 787 km (entre o Norte-litoral (PT) e Saragoça (ESP)), obrigando à implementação de 2 *IRPs* e alocação de 3 condutores em simultâneo (Figura 5-17).

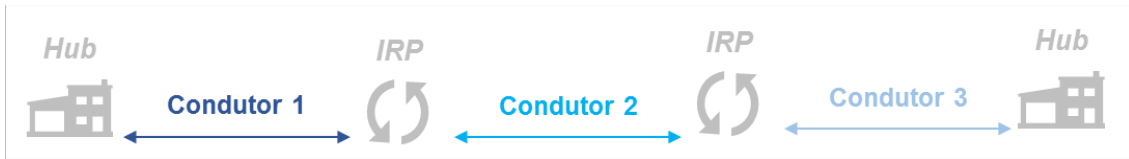


Figura 5-17: Cenário #3 – Pipeline A-C

No entanto, o condutor 2 circula somente entre *IRPs*, situação a evitar, tanto quanto possível, visto que cada condutor deverá iniciar e finalizar o seu turno num *hub*. Deste modo, desagregou-se o *pipeline* e estabeleceu-se um novo entre Madrid e Saragoça (ESP), de 320 km, como exemplifica a Figura 5-18. Os fretes entre o *hub* A e o *hub* C passarão a percorrer mais 21 km (2,7%), face ao *pipeline* original.

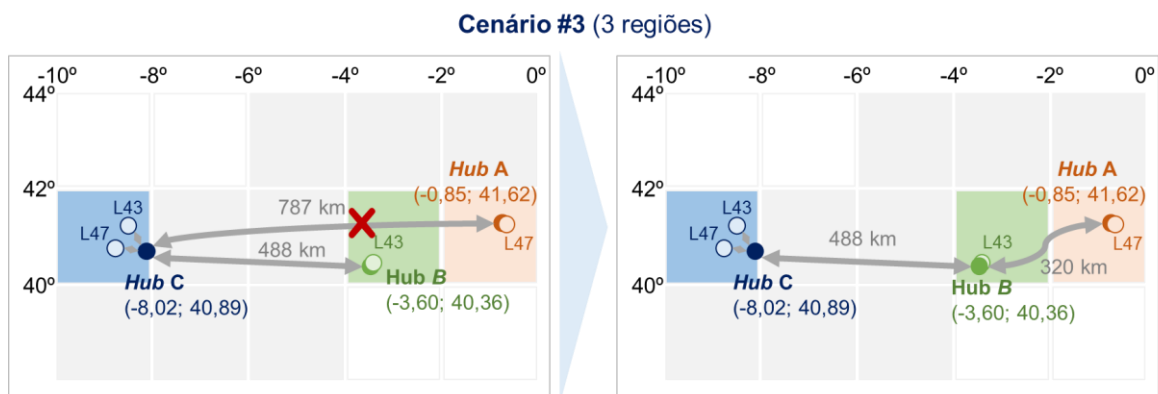


Figura 5-18: Cenário #3 – Localização dos *hubs* e comprimento de *pipelines*

O *pipeline* B-C funcionará com um *IRP*, exigindo 2 condutores em simultâneo e uma folga de *pipeline* de 2,07 horas-homem. O *pipeline* A-B não contemplará *IRPs*: a distância que um condutor de longo curso deverá percorrer por turno é de 630 km, valor próximo à viagem de ida e volta no *pipeline* (640 km).

Por sua vez, o cenário #4 apresenta 2 *pipelines* com 570 km (A-C) e 414 km (B-C), e folgas na ordem das 0,89 e 3,09 horas-homem, respetivamente (Figura 5-19). Pela observação da figura, pode concluir-se que os *hubs* tendem a privilegiar localizações estratégicas de “bifurcação”, afastando-se das regiões que servem.

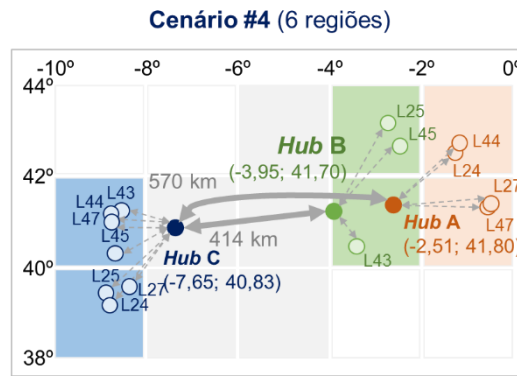


Figura 5-19: Cenário #4 – Localização dos *hubs* e comprimento de *pipeline*s

A nível de distâncias percorridas, verifica-se um ligeiro aumento de 2,6% no cenário #3 dos fretes que passarão a circular por *pipeline* face ao atual modelo de expedição (Figura 5-20). Este incremento é originado, em larga escala, pela supressão do *pipeline* direto entre o Norte-litoral (PT) e Saragoça (ESP), obrigando ao desvio dos fretes pelo *hub* de Madrid (ESP). No cenário #4, os fretes das ligações selecionadas para *pipeline* percorrem atualmente 853 km, ao longo do “caminho mais curto” e passarão a percorrer 5,7% mais por *pipeline*.

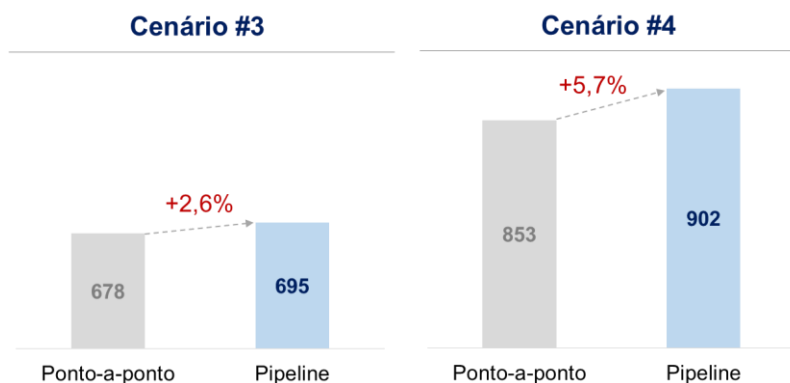


Figura 5-20: Cenários #3 e #4 – Acréscimo de distância (em km) entre expedições

A Tabela 5-12 apresenta os resultados obtidos pelo algoritmo de dimensionamento de capacidade (Fase IV) para cada *pipeline* dos cenários analisados.

Tabela 5-12: Cenários #3 e #4 – Resultados do algoritmo de dimensionamento de capacidade

Cenário	Pipeline	Variável de decisão <i>N_p</i>	Capacidade (em fretes, total de 28 dias)				Análise de expedições (em fretes)		Viagens em vazio			
			Total	Utilizada	Excedentária	Pipeline	Ponto-a-ponto					
Cenário #3	A-B-C (L47)	10	280	270	96,4%	10	3,6%	270	68%	126	32%	0
	B-C (L43)	10	280	268	95,7%	12	4,3%	268	68%	127	32%	6
Cenário #4	A-C	20	560	534	95,4%	26	4,6%	534	89%	67	11%	20
	B-C	28	784	757	96,6%	27	3,4%	757	78%	217	22%	9

Analisando os resultados, observa-se que a capacidade total da rede de *pipelines* criada no cenário #3 será de 20 fretes diários (somatório de Np) e no cenário #4 de 48 fretes. Ainda de realçar que no cenário #3 são expedidos *por pipeline* 538 fretes no período analisado, representado, em média, 9,6 fretes por dia de operação. Já no cenário #4, são expedidos diariamente, em média, 46,1 fretes *por pipeline*.

O cálculo do número de dormidas evitadas “em estrada” seguiu o racional descrito para os cenários de 2 *hubs*, tendo sido obtidos os resultados apresentados na Tabela 5-13.

Tabela 5-13: Cenários #3 e #4 – Dormidas evitadas de fretes expedidos por *pipeline*

Cenário	<i>Pipeline</i>	Dormidas por frete (expedição ponto-a-ponto)	Fretes por <i>pipeline</i> / dia	Dormidas evitadas / dia
Cenário #3	A-B-C (L47)	1,5	9,6	14,4
	B-C (L43)	1,0	9,6	9,6
Cenário #4	A-C	1,4	19,1	26,7
	B-C	1,2	27,0	32,4

A expedição por *pipeline* permitirá evitar diariamente entre 24,0 (cenário #3) e 59,1 (cenário #4) dormidas “em estrada”.

Por último, apresenta-se na Tabela 5-14 os resultados da análise de viabilidade económica realizada por dia de operação. O cenário #4 apresenta o melhor resultado, com um resultado diário positivo estimado em 701€, 53% mais que a poupança gerada por via do cenário #3. Tal se deve às significativas poupanças em remuneração de condutores e estacionamento que o cenário #4 admite, pois engloba os fretes analisados com maiores trajetos e como tal os que envolvem mais estadias “em estrada” (em média, 1,3 dormidas por frete).

Tabela 5-14: Cenários #3 e #4 – Análise de viabilidade económica

Cenário	Custos evitados (1)		Custos acrescidos (2)				TOTAL (1 - 2)	
	Remuneração - condutor	Parqueamento/ alojamento	Acréscimo de distância	Viagens em vazio	Folga de <i>pipeline</i>	Folga de equipa		Stock no hub
Cenário #3	769 €	409 €	219 €	261 €	154 €	10 €	77 €	458 €
Cenário #4	1.891 €	1.005 €	1.222 €	344 €	385 €	60 €	184 €	701 €

De realçar ainda a parcela significativa de custos decorrentes do acréscimo de distância no cenário #4 (cerca de 56% do total de custos acrescidos), que resulta sobretudo dos fretes da ligação L43 que efetuam desvios consideráveis ao longo da expedição por *pipeline*.

Não obstante, quer em termos de regressos “a casa”, quer a nível de poupanças geradas, o cenário #4 revela-se mais favorável face ao cenário #3.

5.6. Discussão de resultados

A Figura 5-21 apresenta os principais resultados obtidos nos diversos cenários na componente operacional.

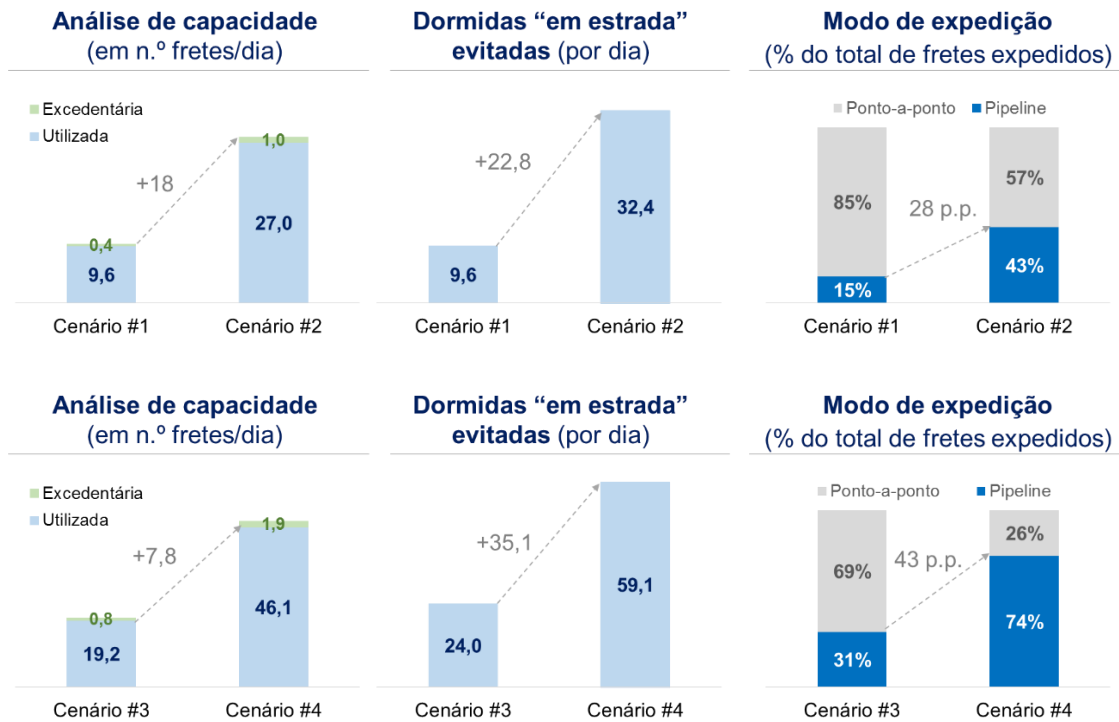


Figura 5-21: Resultados do modelo (componente operacional)

Verifica-se que a adoção do cenário #1 permitirá evitar 9,6 estadias “em estrada” por dia de operação. Porém, de realçar que o problema do *turnover* de condutores tenderá a persistir, visto que, através da simulação efetuada para 28 dias de operação, apenas 15% do total de fretes analisados serão transportados por *pipeline*, continuando os restantes 85% por ponto-a-ponto, obrigando, nesta via, os condutores a continuarem a pernoitar fora-de-casa.

Em alternativa, o cenário #2 garante melhores resultados, evitando diariamente, em média, 32,4 estadias fora do domicílio dos condutores (mais 22,8 dormidas face ao cenário #1), com uma capacidade a instalar nos *pipelines* de 28 fretes por dia. Possibilitará que sensivelmente 43% da procura de fretes possa ser expedida por *pipeline*.

Relativamente aos cenários #3 e #4, que envolvem a implementação de 3 *hubs*, o cenário #4 permitirá evitar 59,1 estadias “em estrada” diariamente e que 74% dos fretes sejam

efetivamente expedidos por *pipeline* (valor ainda assim ligeiramente abaixo dos 84% fretes potenciais previstos inicialmente). Este cenário revela ser o mais atrativo para a resolução do elevado *turnover*, visto que apenas 26% dos fretes serão expedidos por ponto-a-ponto.

Incorporando a análise económica na discussão e considerando a instalação de 2 *hubs*, verifica-se que o cenário #1 garante um resultado atrativo para a empresa (poupança diária de 300€), embora o cenário #2 permita mais estadias “em casa” (mais 22,8 dormidas por dia), conforme se observa no gráfico da Figura 5-22.

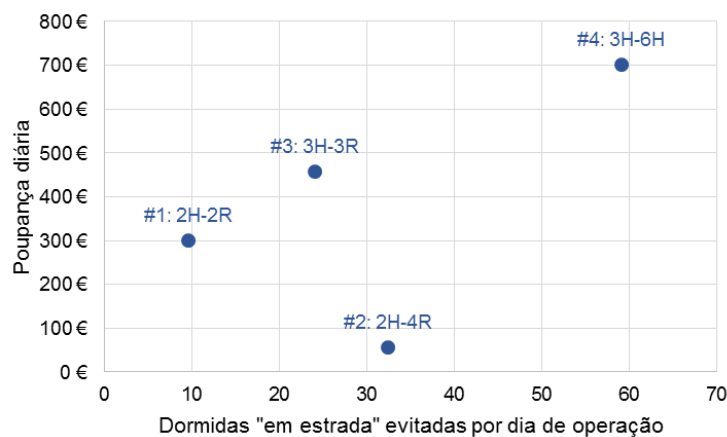


Figura 5-22: Resultados do modelo (análise económica e de dormidas “em estrada” evitadas)

O custo de oportunidade em eleger o cenário #2 em detrimento do #1 será, nesta via, de 244€ por dia de operação, o mesmo dizer que a empresa deixará de ganhar 11€ por cada estadia “em casa” a mais face ao cenário #1.

Verifica-se, nesta medida, um importante *trade-off* entre estadias evitadas em “estrada” e poupanças geradas. Indiscutivelmente, na ótica dos condutores, o cenário #2 assumir-se-á como o mais favorável, permitindo mais estadias “em casa”. No entanto, na perspetiva da empresa, o cenário #1 poderá revelar-se mais atrativo por garantir maiores poupanças, ainda que seja o cenário #2 a favorecer a resolução do problema do elevado *turnover* de condutores.

Considerando a implementação de 3 *hubs*, deverá ser equacionado o cenário #4, uma vez que se trata do cenário que garante maior número de estadias no domicílio e simultaneamente o que garante o melhor resultado (59,1 estadias e uma poupança diária que ascende a 700€), prevalecendo então sobre o cenário #3.

A Figura 5-23 apresenta os resultados obtidos extrapolados para um ano de operação, considerando os efeitos de sazonalidade de procura (quebra acentuada no período entre o Natal e o Dia de Reis).

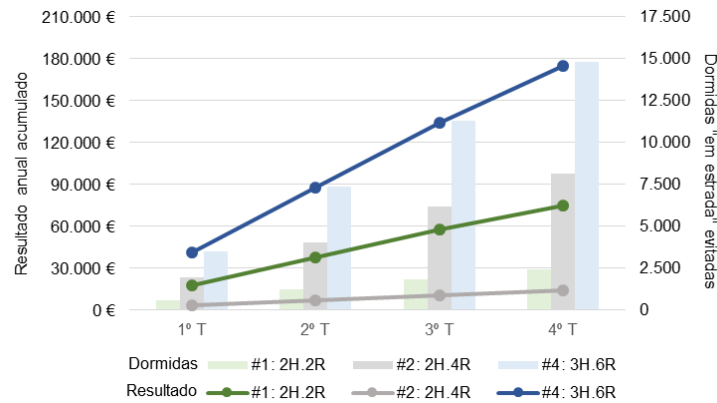


Figura 5-23: Resultados anuais previstos

As poupanças previstas no cenário #4 de sensivelmente 175.000€ evidenciam um cenário bastante atrativo para a empresa, que está fortemente dependente da redução de custos para a sua sustentabilidade. Por outro lado, a implementação de 3 *hubs*, ao invés de 2, permitirá à empresa eleger o cenário #4 e obter um acréscimo de poupança de 133%, face ao cenário #1 e evitar quase 15.000 dormidas “em estrada”, um aumento de 82% em comparação com o cenário #2.

Nos cenários elegidos, os custos de combustível representam uma parcela significativa dos custos totais acrescidos, variando entre 25% (cenário #1) e 41% (cenários #2 e #4). A volatilidade do preço do gasóleo constitui umas das principais preocupações de qualquer empresa neste setor. Deste modo, considera-se oportuno estimar eventuais impactos com a subida deste bem na viabilidade económica dos cenários elegidos. Para tal, procedeu-se a uma análise de sensibilidade, fazendo aumentar, em condições *ceteris paribus*, 15% do preço do litro de gasóleo (ou seja, de 1,21 para 1,40€/litro).

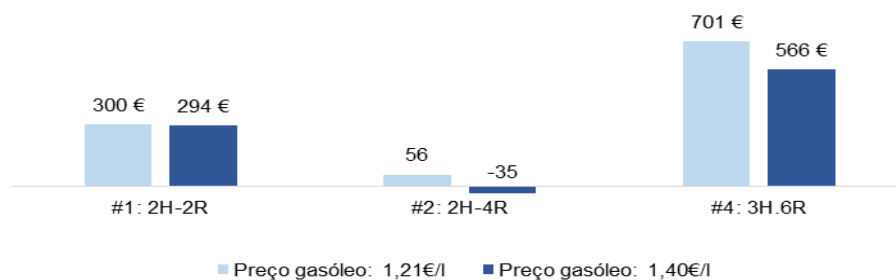


Figura 5-24: Variação do resultado diário com o aumento do preço do gásleo em 15%

Analisando os resultados obtidos (Figura 5-24), conclui-se que o impacto é residual no cenário #1, registando um decréscimo de apenas 2,2% nas poupanças geradas.

Estima-se, contudo, que o cenário #2 gere um prejuízo diário de 35€, alertando, deste modo, para a fiabilidade do mesmo. Por último, o cenário #4 regista um decréscimo de poupanças na ordem dos 19%, continuando ainda assim a prevalecer sobre os restantes cenários, com poupanças estimadas em 566€ por dia de operação (mais 272€ em comparação com o cenário #1).

Através da aplicação do modelo desenvolvido à operação de carga completa na Península Ibérica da Luís Simões, é possível observar ganhos tanto para o condutor, em termos de qualidade de vida, como para as empresas, que para além de conseguirem oferecer um maior *work-life balance* aos seus condutores, permitirão obter poupanças significativas. Este estudo permitiu, à semelhança da investigação desenvolvida por Melton & Ingalls (2012), melhorar a profissão dos condutores, sem sacrificar a empresa ou o prazo de entrega definido com o cliente.

6. Conclusão e perspectivas de investigação

6.1. Principais conclusões

O panorama altamente competitivo das empresas de transporte rodoviário de mercadorias tornam essencial a obtenção de eficiências. No entanto, a racionalização de recursos das empresas nem sempre acontece da forma mais adequada, obrigando os seus condutores a longas jornadas “fora do domicílio”, culminando na deterioração da qualidade de vida dos mesmos.

O presente estudo debruçou-se no uso de *relay points*, uma abordagem que tem despoletado particular atenção para a resolução do conflito de interesses entre as empresas, que minimizam, tanto quanto possível, viagens em vazio e seus condutores, que procuram regressos mais frequentes “a casa”. Ainda que tenham sido identificadas múltiplas abordagens para a formulação de redes assentes no uso destes pontos de troca de reboques entre condutores, verificou-se um *gap* na literatura na implementação deste tipo de redes em empresas de menor dimensão ou com disponibilidades de investimento mais restritas.

Deste modo, o modelo desenvolvido considerou: (i) a implementação de determinados *relay points* na via pública, não acarretando custos excessivos para o transportador, verificando-se essa situação na prática empresarial ainda que pontualmente; (ii) o número de instalações a implementar um parâmetro do modelo e não um *output* como em muitos estudos; e (iii) a implementação de *relay points* nos fluxos de maior procura de fretes, permitindo, desta forma, reduzir, em larga escala, o número de dormidas “em estrada”.

Por outro lado, o modelo pressupôs uma combinação híbrida de expedições (*relay points* e ponto-a-ponto), apontada por diversos autores como sendo mais vantajosa face a um dos métodos isolados (Liu *et al.*, 2003; Üster & Kewcharoenwong, 2011). De salientar ainda que contemplou a minimização de distâncias percorridas e a questão do *load imbalance*, temas considerados pertinentes na formulação deste tipo de redes para garantir a sua viabilidade, conforme realçou Campbell (2005).

A descrição do modelo foi decomposta em 5 fases, utilizando em diversas etapas algoritmos, assentes no uso de programação não-linear, para dar resposta às questões de investigação, nomeadamente na criação de *pipelines*, localização dos *relay points* e dimensionamento da capacidade dos *pipelines*.

Os resultados obtidos, fruto da aplicação do modelo à operação da Luís Simões, permitiram concluir que é compatível diminuir o número de estadias “em estrada” dos condutores e gerar simultaneamente poupanças para a empresa. Deste modo, a empresa para além de obter uma solução para o elevado *turnover*, poderá reduzir os seus custos operacionais, aumentando a sua competitividade num mercado fortemente concorrencial. Na ótica dos condutores, a rede por *pipelines* permitirá regressos mais frequentes “a casa” e horários regularizados sem recorrer a horas extra, melhorando, nesta via, a sua qualidade de vida.

Convém, no entanto, ressaltar que o estudo foi alvo de limitações que podem ter influenciado de certa forma os resultados obtidos. Algumas das limitações identificadas predem-se com: as distâncias calculadas, tendo por racional as distâncias euclidianas acrescidas de um fator de circuito para maior aproximação à realidade, mas que ainda assim não são reais; a metodologia definida para a estimativa do número de dormidas “em estrada” que cada frete expedido por ponto-a-ponto envolve; e o período de análise dos fretes, relativamente reduzido.

Neste sentido surgem seguidamente propostas de futuras investigações que visam consolidar o estudo da presente dissertação.

6.2. Perspetivas de investigação futuras

Em primeiro lugar, a aplicação do modelo resultou de uma amostra de fretes que compreendeu 3 meses apenas. Idealmente deveria abranger um período mais alargado para garantir uma maior fiabilidade dos resultados obtidos. Por outro lado, o estudo desenvolvido deverá ser complementado igualmente com uma análise económico-financeira mais exaustiva, contemplando investimentos associados a novas instalações (*hubs*), custos decorrentes da reorganização das instalações já existentes e poupanças geradas pela redução do *turnover*.

Por outro lado, o modelo descrito considera que um frete expedido através de *pipelines* terá de ser movimentado, no mínimo, por 3 condutores (2 condutores locais e, pelo menos, 1 de longo curso). Verificou-se em alguns cenários a existência de folgas de *pipelines* consideráveis, gerando períodos sem trabalho para os condutores de longo curso até finalizarem o seu turno. Uma possível investigação futura passará por dar a possibilidade aos condutores de longo curso efetuarem também entregas ou recolhas no cliente, substituindo pontualmente a função dos condutores locais, sem prejudicar, contudo, os

seus regressos “a casa”. Desta forma, é possível suprimir as folgas de tempo, tornando mais eficiente este modo de expedição.

Noutra perspetiva, o presente estudo focou-se em temas de âmbito estratégico, não contemplado a respetiva operacionalização do modelo descrito. De facto, um dos fatores críticos de sucesso para este modelo respeita a sincronização dos recursos ao longo da rede. Na literatura existem, porém, algumas investigações neste campo, como o estudo de Neves-Moreira *et al.* (2016) que forneceu uma formulação matemática apoiada numa heurística para a sincronização de recursos. No entanto, este tema não foi considerado no estudo, assim como outros temas de cariz tático, como o dimensionamento e escalas de condutores.

Por último, seria também vantajoso equacionar a seleção dos fretes para *pipelines* em função do número de estadias “em estrada” que poderão evitar. Deste modo, fretes com maior distância percorrida serão privilegiados em comparação com fretes que obrigam a menos dormidas de condutores ao longo do percurso.

Bibliografia

- McKinnon, A. 2006. Life without trucks: the impact of a temporary disruption of road freight transport on a national economy. *Journal of Business Logistics*, 27: 227-250.
- Ali, T. H., Radhakrishnan, S., Pulat, S. & Gaddipati, N. C. 2002. Relay network design in freight transportation systems. *Transportation Research Part E*, 38: 405-422.
- Barros, J. A. 2012, Março. *Mobilidade de mercadorias – rodovias, ferrovias e portos*. Comunicação apresentada na Sessão de Debate sobre Comunicação Transfronteiriça Norte de Portugal, Vigo.
- Campbell, J. F. 2005. Strategic network design for motor carriers. In: Langevin, A., Riopel, D. (Eds.). *Logistics systems: Design and optimization*. Montreal, Canadá: Springer.
- Campbell, J. F., Langevin A., Riopel D. 2005. The network of logistics decisions. In: Langevin, A., Riopel, D. (Eds.). *Logistics systems: Design and optimization*. Montreal, Canadá: Springer.
- Carvalho, J. 2010. *Logística e Gestão da Cadeia de Abastecimento*. Lisboa: Edições Sílabo.
- Crainic, T. G., Laporte G. 1997. Planning models for freight transportation. *European Journal of Operational Research*, 97 (3): 409-438.
- Dobie, K. 2005. The core shipper concept: A proactive strategy for motor freight carriers. *Transportation Journal*, 44 (2): 37-53.
- Eurostat. 2014. *Total road freight transport measurement*. Consultado em 8 ago. 2016. Disponível em <http://ec.europa.eu/eurostat/web/transport/data/database>
- Instituto Nacional de Estatística. 2011. *Estatísticas dos transportes - 2010*. Consultado em 18 out. 2016. Disponível em https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_publicacoes&PUBLICACOE_Spub_boui=127596977&PUBLICACOESmodo=2&xlang=pt
- Kanafi, A. & Ghobrial A. A. 1985. Airline hubbing - some implications for airport economics. *Transportation Research Part A*, 19: 15-27.
- Keller, S. B. & Ozment, J. 1999. Managing driver retention: effects of the dispatcher. *Journal of Business Logistics*, 20 (2): 97-119.
- LeMay, S., Taylor, G. & Turner, G. 1993. Driver turnover and management policy: a survey of truckload irregular route motor carriers. *Transportation Journal*, 33: 15-21.
- Liu, J., Li, C. & Chan, C. 2003. Mixed truck delivery systems with both hub-and-spoke and direct shipment. *Transportation Research Part E*, 39: 325-339.
- Luís Simões. 2015. *Inovação e sustentabilidade*. Consultado em 20 set. 2016. Disponível em <http://www.luis-simoes.pt/page/inovacao-e-sustentabilidade>
- Martín, J.C. & Román, C. 2004. Analyzing competition for hub location in intercontinental aviation markets. *Transportation Research Part E*, 40: 135-150.

- Melton, K. D. & Ingalls, R. 2012. Utilizing relay points to improve the truckload driving job. *International Journal of Supply Chain Management*, 1 (3): 1-10.
- Min, H. & Emam, A. 2003. Developing the profiles for truck drivers for their successful recruitment and retention: a data mining approach. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 33: 149-62.
- Neves-Moreira, F., Amorim, P., Guimarães, L. & Lobo, B. A. 2016. A long-haul freight transportation problem: Synchronizing resources to deliver requests passing through multiple transshipment locations. *European Journal of Operational Research*, 248: 487-506.
- O'Kelly M. E. 1998. A geographer's analysis of hub-and-spoke networks. *Journal of Transport Geograpy*, 6 (3): 171-186.
- O'Kelly M. E. & Bryan D. L. 1998. Hub location with flow economies of scale. *Transportation Research Part B*, 32: 605-616.
- Powell, W. B. & Sheffi, Y. 1983. The load planning problem of motor carriers: Problem description and a proposed solution approach. *Transportation Research: Part A—Policy and Practice*, 17: 471-480.
- PORDATA. 2015. *Preços médios de venda ao público dos combustíveis*. Consultado em 20 set. 2016. Disponível em <http://www.pordata.pt/Portugal/Pre%C3%A7os+m%C3%A9dios+de+venda+ao+p%C3%ABablico+dos+combust%C3%ADveis+1%C3%ADquidos+e+gasosos+%E2%80%93+Continente-1265>
- Reynolds-Feighan, A. 2001. Traffic distribution in low-cost and full-service carrier networks in the US air transportation market. *Journal of Air Transport Management*, 7: 265-275.
- Stephenson, F. & Fox, R. (1996). Driver retention solutions: strategies for-hire truckload (TL) employee drivers. *Transportation Journal*, 35 (4): 12-25.
- Taha, T. T. & Taylor, G. D. 1994. An integrated modeling framework for evaluating hub-and-spoke networks in truckload trucking. *Logistics and Transportation Review*, 30 (2): 141-166.
- Taha, T. T., Taylor, G. D. & Taha, H. A. 1996. A simulation-based software system for evaluating hub-and-spoke transportation networks. *Simulation Practice and Theory*, 3: 327-346.
- Taylor, G. D., Harit, S., English, J. & Wicker, G. 1995. Hub and spoke networks in truckload trucking: Configuration, testing and operational concerns. *Logistics and Transportation Review*, 31: 209-237.
- Taylor, G. D. & Meinert, T. S. 2000. Improving the quality of operations in truckload trucking. *IIE Transactions*, 32: 551-562.
- Taylor, G. D., Meinert, T. S., Killian, R. & Whicker, G. 1999. Development and analysis of alternative dispatching methods in truckload trucking. *Transportation Research Part E*, 35: 191-205.

- Taylor, G. D., Whicker, G. L. & DuCote, W. G. 2009. Design and analysis of delivery 'pipelines' in truckload trucking. *Transportation Research Part E*, 45: 255-269.
- Taylor, G. D., Whicker, G. L. & Usher, J. S. 2001. Multi-zone dispatching in truckload trucking. *Transportation Research Part E*, 37: 375-390.
- Üster H. & Kewcharoenwong, P. 2011. Strategic design and analysis of a relay network in truckload transportation. *Transportation Science*, 45 (4): 505-523.
- Üster H. & Maheshwari, N. 2007. Strategic network design for multi-zone truckload shipments. *IIE Transactions*, 39: 177-189.
- Vergara, H. & Root, S. 2013. Mixed fleet dispatching in truckload relay network design optimization. *Transportation Research Part E*, 54: 32-49.
- Wheeler, C. F. 1989. Strategies for maximizing the profitability of airline hub-and-spoke networks. *Transportation Research Record*, 1024: 1-9.
- Zäpfel, G. & Wasner, M. 2002. Planning and optimization of hub-and-spoke transportation networks of cooperative third-party logistics providers. *International Journal of Production Economics*, 78: 207-220.

Anexo A

Tabela A.1: Lista de distâncias calculadas pelo Google Maps e determinação do respectivo fator de circuito

PT latitude	PT longitude	ESP latitude	ESP longitude	Distância real (km)	Fator de circuito
39,05814	-9,006883	43,1769783	-2,633813	849	1,286
39,069603	-8,869292	42,5267993	-1,6776784	872	1,256
39,10996	-8,867683	42,5267993	-1,6776784	866	1,250
39,474394	-8,532302	42,8297005	-1,5903842	812	1,211
39,475872	-8,531818	42,8297005	-1,5903842	812	1,211
40,064735	-8,856896	41,5639307	-0,729523	863	1,200
40,064735	-8,856896	41,9787667	-1,4446772	839	1,260
40,064735	-8,856896	42,566321	-2,0187484	773	1,220
40,064735	-8,856896	43,047555	-2,0876657	800	1,243
40,064735	-8,856896	43,1986411	-2,0741802	807	1,241
40,091483	-8,873178	42,7330941	-1,6451045	817	1,220
40,141853	-8,813771	42,3439925	-3,696906	589	1,215
40,146329	-8,821716	41,6323601	-0,9295234	830	1,188
40,146329	-8,821716	42,3439925	-3,696906	591	1,218
40,430762	-8,425129	41,6416088	-1,0155385	794	1,216
40,845438	-8,648427	41,6627946	-0,8627473	862	1,266
40,879659	-8,620878	41,5639307	-0,729523	823	1,194
40,879659	-8,620878	41,6627946	-0,8627473	861	1,269
41,091902	-8,605512	40,2958787	-3,6978264	568	1,313
41,091902	-8,605512	41,6416088	-1,0155385	770	1,163
41,126136	-8,527433	41,875785	-4,5424	434	1,230
41,135558	-8,534195	41,875785	-4,5424	433	1,226
41,169806	-8,570347	40,7433158	-3,0313342	632	1,308
41,191804	-8,541308	41,5639307	-0,729523	779	1,145
41,226784	-8,635101	40,2636452	-3,7485874	568	1,311
41,227493	-8,617076	40,2636452	-3,7485874	569	1,318
41,233426	-8,631017	40,2636452	-3,7485874	569	1,314
41,235735	-8,530855	40,2958787	-3,6978264	566	1,321
41,236394	-8,537969	40,2958787	-3,6978264	565	1,317
41,262191	-8,645606	40,2636452	-3,7485874	574	1,320
41,563807	-8,421353	40,7433158	-3,0313342	653	1,377

Anexo B

Figura B.1: Estrutura da folha de cálculo do *Microsoft Excel* para aplicação do algoritmo de criação de *pipelines* (fase II) no *Solver*

The screenshot displays the Microsoft Excel interface with the Solver Parameters dialog box open. The spreadsheet background shows the following data:

3.1. Algoritmo de alocação de regiões a hubs (2 hubs)

Função objectivo
 Maximizar fretes por pipeline, diminuindo o load imbalance
 535

Análise de load imbalance
 Load imbalance pré-algoritmo: 36%
 Load imbalance pós-algoritmo: 22%

Restrições de zonas por hub

Hub	Valor	%
Hub A	2	1.101
Hub B	2	55%

Alocação de zonas a hubs (tabela binária de decisão)

Código da região	Região	Hubs	
		Hub A	Hub B
A	Cidade Real/Toledo	0	0
B	Valadoli	0	0
C	Madrid	0	1
D	Saragoça	0	0
E	Burgos	0	0
F	País Basco	0	1
G	Navarra	0	0
H	Centro-litoral	1	0
I	Norte-litoral	1	0
J	Centro-interior	0	0
K	Norte-interior	0	0
Total		2	2

Rotas seleccionadas para RP

Rota	Terminal	Terminal ESP	PT - Hub	PT - Hub	Deci
L26	Centro-litoral	Valadoli	1	0	
L27	Centro-litoral	Saragoça	1	0	
L21	Centro-litoral	Burgos	1	0	
L25	Centro-litoral	País Basco	1	1	
L24	Centro-litoral	Navarra	1	0	
L42	Norte-litoral	Cidade Real/Tole	1	0	
L46	Norte-litoral	Valadoli	1	0	
L43	Norte-litoral	Madrid	1	1	
L47	Norte-litoral	Saragoça	1	0	
L45	Norte-litoral	País Basco	1	1	
L44	Norte-litoral	Navarra	1	0	
L14	Centro-interior	Navarra	0	0	
L32	Norte-interior	Cidade Real/Tole	0	0	
L36	Norte-interior	Valadoli	0	0	
L33	Norte-interior	Madrid	0	1	
L37	Norte-interior	Saragoça	0	0	
L35	Norte-interior	País Basco	0	1	
L34	Norte-interior	Navarra	0	0	
Total			0	0	

Solver Parameters Dialog:

- Set Objective: \$B\$6
- To: Max
- By Changing Variable Cells: \$D\$16:\$E\$26
- Subject to the Constraints:
 - \$C\$36:\$D\$59 <= 1
 - \$D\$16:\$E\$26 = binary
 - \$D\$27 <= \$C\$9
 - \$D\$27:\$E\$27 >= 1
 - \$E\$27 <= \$C\$10
 - \$F\$16:\$F\$26 <= 1
- Select a Solving Method: GRG Nonlinear

Figura B.3: Estrutura da folha de cálculo do *Microsoft Excel* para aplicação do algoritmo de dimensionamento da capacidade do *pipeline* (fase IV) no *Solver*

Solver Parameters

Set Objective:

To: Max Min Value Of:

By Changing Variable Cells:

Subject to the Constraints:

-
-

Make Unconstrained Variables Non-Negative

Select a Solving Method:

Solving Method
Select the GRG Nonlinear engine for Solver Problems that are smooth nonlinear. Select the LP Simplex engine for linear Solver Problems, and select the Evolutionary engine for Solver problems that are non-smooth.

Rota	Procura diária			Fretes retidos dia anterior		Fretes em espera		Fretes por RP			
	ESP > PT	PT > ESP	Load imbalance	ESP > PT	PT > ESP	ESP > PT	PT > ESP	ESP > PT	PT > ESP		
R24	11	6	11	6	5	0	0	11	6	5	5
R25	1	3	1	3	2	6	1	7	4	5	4
R26	3	13	3	13	10	1	0	4	13	4	5
R32	4	11	4	11	7	0	8	4	19	4	5
R33	7	5	7	5	2	0	11	7	16	5	5
R34	6	18	6	18	12	2	5	8	23	5	5
R35	2	4	2	4	2	3	18	5	22	5	5
R36	1	16	1	16	15	0	4	1	20	1	5
R37	8	10	8	10	2	0	15	8	25	5	5
R43	6	15	6	15	9	3	10	9	25	5	5
R44	5	10	5	10	5	4	15	9	25	5	5
R45	6	11	6	11	5	4	10	10	21	5	5
R46	3	16	3	16	13	5	11	8	27	5	5
R14	4	4	4	4	0	3	16	7	20	5	5
	6	6	6	6	0	2	4	8	10	5	5
	6	7	6	7	1	3	5	9	12	5	5
	7	11	7	11	4	4	7	11	18	5	5
	5	9	5	9	4	6	11	11	20	5	5
	10	5	10	5	5	5	9	15	14	5	5
	7	8	7	8	1	10	5	17	13	5	5
	6	10	6	10	4	7	8	13	18	5	5
	6	11	6	11	5	6	10	12	21	5	5
	10	9	10	9	1	6	11	16	20	5	5
	3	10	3	10	7	10	9	13	19	5	5
	6	6	6	6	0	3	10	9	16	5	5
	5	6	5	6	1	4	6	9	12	5	5
	1	9	1	9	8	4	6	5	15	5	5