



Localização da physical internet hub na Península Ibérica

TIAGO MANUEL FERNANDES FREITAS PEIXOTO

novembro de 2018

Localização de physical internet hubs na Península Ibérica

Tiago Manuel Fernandes de Freitas Peixoto

Outubro de 2018

Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Área de Especialização em Sistemas e Planeamento Industrial

Relatório elaborado para satisfação parcial dos requisitos da Unidade Curricular de
Tese/Dissertação do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Candidato: Tiago Manuel Fernandes de Freitas Peixoto, Nº 1111635,
1111635@isep.ipp.pt

Orientação científica: Professor Antonio José Galvão Ramos, agr@isep.ipp.pt



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Área de Especialização em Sistemas e Planeamento Industrial

2018

AGRADECIMENTOS

Este relatório e todo o trabalho nele envolvido não teria sido possível sem a colaboração e a boa vontade daqueles a que agora me refiro. A todos os meus sinceros agradecimentos.

Ao meu orientador Eng.º António Galvão, gostaria de agradecer a oportunidade que me foi concedida de realizar o trabalho de investigação neste tema tão atual e inovador, quero também agradecer todo o apoio prestado na realização do mesmo.

Um agradecimento especial ao meu amigo Filipe Madeira, pelo apoio prestado, nomeadamente nas importantes informações no ramo dos transportes de mercadorias.

Por fim e sem menos importância um agradecimento final à minha família que a meu lado sempre demonstraram apoio incondicional em todos os momentos neste trabalho.

RESUMO

Este relatório tem como principal objetivo realizar um estudo das possíveis localizações dos PI-hubs na Península Ibérica de modo a facilitar o transporte de mercadorias nesta área geográfica. Esta análise é feita com base numa abordagem de otimização de vários objetivos (multiobjectivo), utilizando a filosofia da *physical internet*. Através da *physical internet* é possível fazer o transporte das mercadorias eficazmente e mais rapidamente, este conceito tem como base o tema da localização de nós *hubs*, que muito resumidamente, são instalações preparadas para facilitar a movimentação de grandes quantidades de mercadorias, para distribuir por vários destinos, proveniente de várias origens, tendo uma maior ou menor capacidade para armazenar essas mesmas mercadorias.

Isto leva ao grande problema da atualidade que é tentar fazer com que o transporte de mercadorias seja mais eficaz e mais eficiente. Ao longo deste relatório será analisado as possíveis localizações dos nós *hubs* numa rede de distribuição somente da Península Ibérica. A localização dos nós *hubs*, é influenciada pela componente de cariz social de cada motorista, nomeadamente, na redução do número de dias que o mesmo tem de dormir fora de casa, além da redução do custo globais de transporte.

No final deste relatório e após várias análises computacionais, chega-se à conclusão de que as cidades da rede que são consideradas de nós *hubs* ficam situadas mais ou menos a nível visual no centro desta mesma rede, e que à medida que se dá mais importância à redução do número de noites dormidas fora pelos motoristas a função objetivo tende a ser menor.

Palavras-Chave

Physical internet, hub, Península Ibérica, localização, social, multiobjectivo, mercadorias.

ABSTRACT

This report has the main goal to carry out a study of the possible locations of PI-hubs in the Iberian Peninsula, in order to simplify the transportation of goods in this geographic location. Through this analysis it's optimized an approach of different objectives (multi-objective), using the philosophy of physical internet. With physical internet is possible to transport goods efficiently and more quickly, this concept is based on the theme of the location of the nodes hubs, which are very briefly, installations prepared to facilitate the movement of big amounts of goods to allocate to different destinations, convenient from a variety of origins and by that having a greater or lesser capacity to store those same goods.

This takes us to a big actual problem of assembling the transportation more efficiently. Throughout this report it will be analysed the possible locations of nodes hubs into a distribution network in the Iberian Peninsula. The location of the nodes hubs is influenced by the social aspect of each driver, specifically, the reduction of the number of days that he must sleep outside his home and in addition the reduction of global costs of transport.

In the end of this report and through different computer analysis, it's made to the conclusion that the cities in the network considered by nodes hubs are situated more or less at a visual point in the centre of the network, as more emphasis is placed into reducing the number of outside home nights by the driver, the objective function tends to be minor.

Keywords

Physical internet, hub, Iberian Peninsula, location, social, multiobjective, freight

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
ÍNDICE	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABELAS	XI
ACRÓNIMOS	XIII
1. INTRODUÇÃO	1
1.1.CONTEXTUALIZAÇÃO.....	3
1.2.OBJETIVOS.....	4
1.3.ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO	4
2. REVISÃO DE LITERATURA	7
2.1.HUB LOCATION.....	7
2.2.PHYSICAL INTERNET	18
3. PROBLEMA	31
3.1.DESCRICÃO DO PROBLEMA.....	31
3.2.METODOLOGIA.....	33
3.3.FLUXO MARÍTIMO	34
3.4.FLUXO TERRESTRE	38
3.5.DADOS.....	41
3.6.MODELO MATEMÁTICO	53
3.7.ANÁLISE DE RESULTADOS	56
4. CONCLUSÃO	61
5. REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo para uma rede de hub (Nickel, 2017)	9
Figura 2 - TBL - Triple Bottom Line (Venturini & Lopes, 2015)	13
Figura 3 - Single e Multiple allocation (Shahin Gelareh, 2008)	15
Figura 4 - PI e os seus principais componentes (Sohrabi, Klibi, & Montreuil, 2012)	23
Figura 5 - Futuro da cadeia de abastecimento (Gilmore, 2013)	29
Figura 6 - Mapa da Península Ibérica (João Leitão, 2018)	32
Figura 7 - Rotas entre as principais cidades	33
Figura 8 - Ponto de <i>Utopia</i> e <i>Nadir</i>	55
Figura 9 - Função objetivo do cenário	57
Figura 10 – Cidades <i>hubs</i>	58

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Fatores de insustentabilidade (Montreuil, 2011)	20
Tabela 2 - População das cidades	32
Tabela 3 - Distância entre cidades	34
Tabela 4 - Envio e recepção de mercadoria em toneladas dos portos marítimos	35
Tabela 5 - Fluxo marítimo	37
Tabela 6 - Envio e recepção de mercadoria em toneladas do fluxo terrestre	38
Tabela 7 - Envio e recepção de mercadoria das cidades das comunidades autónomas	39
Tabela 8 - Fluxo terrestre em toneladas	40
Tabela 9 - Número de contentores marítimos	42
Tabela 10 - Número de <i>trailers</i>	43
Tabela 11 - Número de <i>trailers</i> e contentores	44
Tabela 12 - Custo de transporte	45
Tabela 13 - Valores de <i>FK</i>	46
Tabela 14 - Custo de estabelecimento de ligações	47
Tabela 15 - Distância em horas	48
Tabela 16 - Tempos de pausa nas viagens (Filipe Madeira, 2009)	48
Tabela 17 - Tempo de viagem em horas	49
Tabela 18 - Valores na matriz <i>Social Cost</i>	49

Tabela 19 - Número de noites dormidas fora	50
Tabela 20 - Cenário	56

ACRÓNIMOS

- PI – Physical Internet
- HLP – Hub Linear Problem
- TBL – Tripple Bottom Line
- SCM – Supply Chain Management

1. INTRODUÇÃO

Com o avanço tecnológico, as empresas procuram ter uma maior eficácia nos seus processos logísticos. Pois como vivemos numa época de globalização, o mercado torna-se cada vez mais competitivo a cada dia que passa e por isso é extremamente importante que as empresas estejam preparadas para satisfazer as expectativas dos seus clientes, com o principal objetivo de minimizar os custos totais e maximizar o nível de serviço.

Para acompanhar este crescimento do mercado, a área de logística interna e externa de uma empresa tem de estar atenta aos acontecimentos e pronta para uma rápida adaptação às tendências do mercado, originando mais competitividade em relação aos concorrentes diretos. É esta capacidade de adaptação às novas tendências que impulsiona uma empresa para o sucesso e para o seu crescimento, apesar de que a forma como os objetos físicos são movidos, manipulados, armazenados, fornecidos e usados no mundo não é sustentável economicamente, ambientalmente ou socialmente. Pois alguns camiões e contentores,

frequentemente não são carregados na sua totalidade, o que faz com que muitas das vezes estes iniciem o percurso com pouca carga e muitas vezes retornem vazios. Estas ineficiências origina um grande impacto sobre o ambiente e sobre a rentabilidade do fabricante e da transportadora, como por exemplo, os produtos são armazenados principalmente nas redes de armazéns e centros de distribuição e conseqüentemente não estão disponíveis (Montreuil, Rougès, Cimon, & Poulin, 2012):

- Rapidamente;
- Com baixos custos de transporte;
- E quando necessário, os produtos fazem viagens de milhares de quilómetros, o que pode ser evitado com a colocação de centros de distribuição mais próximos.

Além disso, existem algumas variáveis críticas, tais como, custos, atrasos e qualidade, o que tem uma grande influência sobre a estrutura das cadeias de valor, sendo estes os grandes constrangimentos nos modelos de negócios. Essas restrições influenciam também a oferta e a forma como esta é criada.

Um serviço eficaz para o cliente não se consegue somente através de empregados motivados, embora isso seja um pré-requisito, mas por meio dos sistemas logísticos que permitam a entrega do produto dentro dos padrões exigidos pelo cliente. Receber o produto dentro do prazo prometido, entregar no local correto e embalado adequadamente para que não sofra danos no transporte, são os princípios básicos de uma distribuição bem elaborada num sistema logístico.

Daí surge a importância do transporte de mercadorias na logística, sendo esta uma das principais funções logísticas. Além de representar a maior parcela dos custos logísticos na maioria das organizações, tem um papel fundamental no desempenho de diversas dimensões do serviço ao cliente. Do ponto de vista dos custos, representa em média, cerca de 60% das despesas logísticas, o que em alguns casos pode significar duas ou três vezes o lucro de uma empresa (Portogente, 2016).

A fim de abordar todas estas questões, de modo a mudar os fundamentos da logística e da gestão da cadeia de abastecimento (*supply chain management- SCM*), surge a Physical

Internet (PI)¹ que é uma visão quebra-paradigmas, inspirada pela *Digital Internet*², que tem o potencial de revolucionar notavelmente, os campos do transporte de mercadorias, logística e design de instalações, permitindo às organizações mover e implementar produtos físicos sem problemas.

A motivação para essa mudança de paradigma baseia-se na afirmação de que "a maneira como os objetos físicos são movidos, manipulados, armazenados, fornecidos e usados em todo o mundo não é sustentável economicamente, ambientalmente e socialmente" (Montreuil, Meller, & Ballot, 2010).

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

A realização deste trabalho surge devido ao interesse iminente pela área da logística, nomeadamente no transporte de mercadorias. Isto aliado à pesquisa e estudo de novos conhecimentos dentro desta área, despertando assim o interesse na procura do tema de *Physical Internet* (PI).

Com o avanço da modernização no mercado dos transportes de mercadorias, este tem sido cada vez mais exigente, devido ao aparecimento de novos concorrentes, mas também pelo aumento dos consumidores finais. Isto leva a que muitas das empresas tenham de garantir a entrega dos produtos o mais eficiente e eficazmente possível.

¹ A Physical Internet não manipula os bens físicos diretamente, manipula exclusivamente contentores explicitamente projetados para a Physical Internet e que encapsulam bens físicos dentro deles (Montreuil et al., 2010).

² A Digital Internet não transmite informações, esta transmite pacotes com informações incorporadas (Montreuil, 2011)

Devido à pouca divulgação e conhecimento demonstrado até ao momento deste tema, faz com que este relatório seja importante para as empresas, dando a possibilidade de seguirem o modelo que irá ser apresentado e estudado ao longo do mesmo.

1.2. OBJETIVOS

O principal objetivo no desenvolvimento deste projeto é saber a localização dos *PI-hubs*, na Península Ibérica, de forma a garantir o menor custo no transporte de mercadorias e na redução do número de noites dormidas fora pelos motoristas em cada viagem. Visto ser um objetivo complexo é necessário estabelecer vários subobjetivos, tais como:

- Escolha das principais cidades da Península Ibérica, utilizando o critério populacional;
- Verificar as rotas de ligação entre todas as cidades e verificar as cidades com mais ligações;
- Identificar os fluxos de mercadorias entre as cidades;
- Realizar o estudo dos tempos de viagem entre todas as cidades selecionadas;
- Acrescentar as restrições temporais de condução do motorista aos tempos de viagem entre cidades;
- Verificar o número de noites dormidas fora de casa por parte do motorista em cada viagem;
- Elaboração de um modelo matemático.

1.3. ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO

A organização deste relatório é dividida em quatro capítulos. No primeiro capítulo faz-se a introdução ao tema deste projeto, no segundo capítulo são apresentados os dois grandes conceitos associados a este tema (*physical internet e hub location*), assim como uma breve história e vários exemplos. No terceiro capítulo são apresentados o modelo matemático

desenvolvido para este projeto e os dados para sua resolução e por fim no quarto capítulo são apresentadas as conclusões.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo são apresentados os principais temas relacionados com a PI, passando pelo tema de *hub location* e a *physical internet* propriamente dita. Nos subcapítulos faz-se referência à história destes temas, mas também são apresentados exemplos num contexto real, para uma melhor percepção.

2.1. HUB LOCATION

Os sistemas de *hubs* têm sido utilizados nas áreas das telecomunicações, e nos transportes. Estes sistemas surgem quando mercadorias (passageiros, carga, etc.) de um conjunto de origens devem ser enviadas para um conjunto de destinos. Mas em vez de se estabelecer

uma rota direta entre uma origem e um destino, utiliza-se um nó intermédio, chamado de nó *hub*.

Estes nós são os únicos pontos intermédios válidos num percurso de uma origem para um destino, servindo de instalações de comutação, armazenamento e distribuição de mercadoria, facilitando assim o tráfego entre estes pontos (Shahin Gelareh, 2008). Estas instalações recebem fluxos de diferentes origens, antes de serem encaminhados para os seus destinos finais ou para um outro nó *hub*.

Neste momento o mercado é bastante competitivo e as empresas forçosamente têm de adotar métodos e equipamentos mais eficientes de forma a melhorar a produtividade e a qualidade dos serviços prestados, nomeadamente no transporte de mercadorias, o que por consequência faz com que aumente a exigência competitiva dos diferentes tipos de mercado em que estão inseridas.

Isto aliado ao crescimento da tecnologia, faz com que haja mais oportunidade de se adquirir ferramentas vantajosas, tais como, veículos autónomos, rastreamento no transporte de mercadorias, entre outras. Conseguindo com isto ter um maior controlo de todas as atividades, tornando o fluxo de mercadorias mais eficiente.

Com esta eficiência é possível obter informações desde o carregamento inicial dos materiais do fornecedor, até à venda do produto fabricado ao consumidor final. Isto é uma grande ajuda para as empresas, pois com a modernização das mesmas, o comércio eletrónico começa cada vez mais a ter uma maior importância para a empresa, surgindo assim mais uma via na requisição de produtos, fazendo com que as empresas tenham de ter uma resposta mais eficaz, utilizando os nós *hubs*.

De forma a entender melhor o que é um nó *hub*, é apresentado um exemplo real. No transporte de mercadorias, os vértices do cubo representam os nós *hub* (*hub node*) e as arestas representam as ligações entre os nós *hub* (*hub level*) como se pode observar na Figura 1.

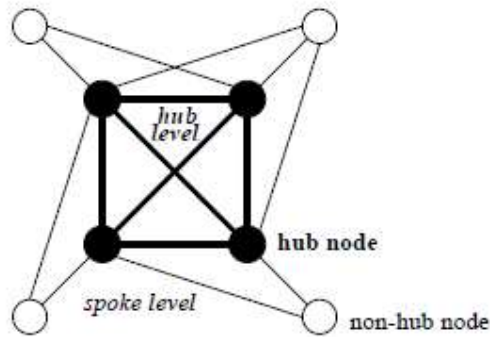


Figura 1 - Exemplo para uma rede de hub (Nickel, 2017)

Numa rede de distribuição também existem os nós não *hub* (*non-hub node*) e as suas ligações aos nós *hubs* (*spoke level*). Basicamente o problema de localização de *hubs* numa rede consiste em duas partes, dependentes uma da outra (Nickel, 2017):

- na localização dos nós que devem servir como *hubs* e seleccioná-los;
- na alocação dos nós não *hub* que devem ser atribuídos aos nós *hubs*.

Depois de apresentada a definição de *hub*, acompanhada de um exemplo real, segue-se agora uma pequena exposição histórica relacionada com o termo *hub*.

A localização de *hubs* é um tema estudado pelas pesquisas operacionais, confirmado não só pela existência de revistas que se dedicam à ciência da localização, mas também por vários artigos de revisão científica que oferecem uma visão geral do progresso das pesquisas ao longo do tempo. Embora os desenvolvimentos na localização de *hub* estejam principalmente ligados à necessidade de mover pessoas ou mercadorias, este tipo de formulação de problema também pode ser adotado às telecomunicações, cujo os dados são distribuídos através de *hubs*, que são as redes de informação (Vieira & Luna, 2016).

Associado à localização dos nós *hubs*, surgem as redes de *hub-spoke*³, cujo tema foi iniciado por Goldman em 1969, seguido por O'Kelly que em 1986 fez um estudo primitivo de *hub-*

³ Um modelo *hub-spoke* consiste numa arquitetura centralizada (*hub*) conectados a múltiplos *spokes* (nós). Esta arquitetura é considerada o paradigma ideal para soluções e integração de dados. ("Como uma arquitetura de *Hub* e *Spoke* pode ajudar a gerenciar dados - polarização," 2018).

spoke nas redes de tráfego aéreo (Shahin Gelareh, 2008). O'Kelly em 1987 propôs a primeira formulação matemática para as redes de hub-spoke, através de um modelo quadrático para o problema de mediana dos hubs de alocação única (S Gelareh & Nickel, 2011). Desde então, muitos investigadores têm vindo a trabalhar nas diferentes classes dos problemas de *hub linear problem* (HLP), tanto nos aspetos teóricos como nas diversas aplicações. Estes estudos vêm de encontro, a satisfazer a necessidade de utilização de infraestruturas modernas no ramo dos transportes e nos sistemas de telecomunicações.

Já as primeiras publicações de localização de *hub* apareceram em 1986 na Ciência do Transporte e na Análise Geográfica, nestas publicações O'Kelly conseguiu converter os problemas contínuos de localização para problemas de Weber⁴, também referenciado como problema de mediana (Campbell & O'Kelly, 2012). Os problemas contínuos de localização procuram localizar um ou mais *hubs* num espaço contínuo, tal como um plano, onde o conjunto de soluções possíveis é infinito, já o problema de Weber tem com objetivo, diminuir as distâncias médias entre nós *hubs* e não *hubs*.

Apesar de que em 1964 Hakimi já tinha descrito que os fluxos de origem-destino são como "uma rede de comunicação, tal como um sistema de interligação telefónica, onde todos os fluxos de tráfego (mensagens) dentro da rede devem chegar ao centro antes de serem processados e depois enviados para o seu destino." (Campbell & O'Kelly, 2012). A localização de uma única instalação intermédia entre a origem e o destino, leva a que os fluxos sejam convertidos para exigências nodais, de modo a satisfazer a procura do destino.

⁴ A teoria de Weber, chamada de triângulo de localização, procurou a localização ideal para a produção de um bem com base nos locais fixos do mercado e duas fontes de matérias-primas, que geograficamente formam um triângulo. Ele procurou determinar o local de produção de menor custo dentro do triângulo, calculando os custos totais de transporte de matéria-prima de ambos os locais para o local de produção e produto do local de produção para o mercado (The Editors of Encyclopaedia Britannica, 1998).

Foi Hakimi que claramente teve a ideia de um centro de localização intermédio, que iria assim reduzir a mediana, ou seja, a distância entre os diversos nós da rede. Através dessa mediana os fluxos interurbanos nos nós *hubs* e não *hubs* seriam discutíveis, ou uma multimédiana sem custo de transporte para os movimentos interurbanos, o que levaria a ter em atenção questões interdependentes das instalações (Campbell & O’Kelly, 2012).

Na verdade, um dos primeiros comentários sobre localização de *hub* foi no contexto da arquitetura de redes de comunicação, por Klineciewicz (Vieira & Luna, 2016). No entanto, após um período de dez anos, Alumur e Kara apresentaram uma nova pesquisa, bastante abrangente, analisando mais de 100 artigos relacionados com a localização de *hub* em geral. Estes autores descreveram modelos matemáticos, técnicas de solução adotadas e benefícios da escolha de uma técnica ou outra (Vieira & Luna, 2016).

Esta pesquisa, indica que desde o ano 2000, o foco das pesquisas passou da definição e formulação de novos problemas à investigação de novas metodologias de solução. Em geral, o tempo e o custo são os principais critérios a serem minimizados, especialmente no transporte de mercadorias, mas cada vez mais tem se adotado modelos de decisão com múltiplos critérios para uma melhor representação das questões de localização, abandonado assim os modelos com apenas um critério de decisão.

Perante isto, Farahani, Seifi e Asgari em 2010, compilaram um conjunto de documentos sobre a aplicação dos modelos de decisão de múltiplos critérios para a localização das instalações *hubs*. Nesses casos, além dos critérios clássicos como o custo e o tempo, pelo menos outro critério foi considerado, como o risco ambiental ou o nível de serviço (Vieira & Luna, 2016).

Farahani em 2013 estendeu a pesquisa de Alumur e Kara realizada em 2008, analisando a literatura sobre a localização de *hub* a partir do ano de 2007 (Vieira & Luna, 2016). Além dos problemas discretos apresentados por Alumur e Kara, também incluiu abordagens contínuas, levando a uma nova classificação da literatura, seguindo a proposição de Alumur e Kara, mas agora com subdivisões maiores para englobar outras características, como a modelação, a capacidade de limitação, múltiplos objetivos e a cobertura da rede (Vieira & Luna, 2016).

Atualmente as questões logísticas estão relacionadas com o risco, a sustentabilidade, o impacto ambiental e a globalização, aliada à não sustentabilidade das cadeias de abastecimento atuais, que tem um peso mais importante nas decisões a tomar.

Outro trabalho que examina a literatura sobre localização de *hub* foi apresentado por Campbell e O'Kelly (Vieira & Luna, 2016). Aqui os autores tiveram uma abordagem ligeiramente diferente, avaliando as origens da localização dos problemas de *hub*, a sua evolução ao longo do tempo e como estes são apresentados hoje em dia. O atual estado da arte é discutido para os problemas de grande escala, como as topologias de rede, integração entre custos e serviços, modelação dinâmica, situações de concorrência e confiabilidade.

Estes mesmo autores também descreveram a relação entre a localização de *hubs* e a estrutura da rede, o que acrescenta alguns desafios especiais para a modelação e resolução de problemas, visto que os modelos disponíveis ainda representam redes de transporte reais, e não enfatizam os resultados da organização espacial e a alocação de fluxos através dos arcos da rede, resultando de uma análise de múltiplos critérios de decisão (Vieira & Luna, 2016).

Têm se adotado cada vez mais os modelos de decisão com múltiplos critérios, pois faz com que representação das questões de localização seja melhor, abandonando assim os modelos com apenas um critério de decisão.

Esta adoção de múltiplos critérios de decisão é consequência de uma não sustentabilidade das cadeias de abastecimento atuais, refletindo-se negativamente nos seguintes tópicos (Venturini & Lopes, 2015):

- Crescimento económico;
- Proteção do meio ambiente;
- Igualdade social.

Esses fundamentos aliados à mudança de paradigma das empresas, que tinham como o único objetivo o lucro, passaram por uma conceção de desenvolvimento sustentável com base no tripé da sustentabilidade (*Triple Bottom Line* - TBL (Figura 2)).



Figura 2 - TBL - Triple Bottom Line (Venturini & Lopes, 2015)

Com a propagação do conceito de sustentabilidade, este tornou-se cada vez mais importante, sendo atualmente um dos componentes das estratégias das empresas na inovação e na criação de valor. De uma maneira geral sabe-se que o desenvolvimento sustentável é o ato de atender às necessidades no presente da melhor maneira e com maior eficiência, para que as gerações futuras consigam responder às necessidades da mesma forma (Reyna, Brown, Pickler, Myers, & Younger, 2012).

Uma gestão sustentável tem como principais objetivos, reduzir os impactos ambientais, gerar riqueza e criar valor social por parte da empresa. Outro aspecto importante nas cadeias de abastecimento é a confiabilidade das mesmas, o que segundo orientações futuras das investigações, relacionam este último aspecto com a interrupção de fluxo e incerteza na transmissão de dados, critérios estes que já tinham sido abordados por Melo, Nickel e Saldanha da Gama (Vieira & Luna, 2016), cuja a literatura foi vista numa perspectiva de um contexto aplicacional, o da gestão da cadeia de abastecimento.

Neste contexto, as instalações incluem não só *hubs*, mas também plantas industriais. Os mesmos autores apresentam os critérios a ter em conta para a localização destas instalações dentro do planeamento da cadeia de abastecimento, bem como técnicas de solução de algumas aplicações, mencionadas de seguida (Vieira & Luna, 2016):

- Estrutura da rede;
- Questões financeiras;
- Gestão de riscos;
- Incorporação de logística inversa.

As redes analisadas pelos diversos autores são consideravelmente simples, especialmente no que diz respeito ao número de níveis da cadeia representada e à diversificação dos produtos manipulados. Numa perspetiva futura, Melo, Níquel e Saldanha da Gama salientaram a necessidade de melhorar a orientação dos modelos, uma vez que estes se centram principalmente em fatores económicos, fazendo com que não haja uma integração entre diversos aspetos operacionais e táticos, possibilitando uma maior elaboração das decisões estratégicas e das atividades de logística inversa (Vieira & Luna, 2016).

Após uma breve introdução histórica, depara-se que na atualidade as redes de distribuição são ligeiramente diferentes, pois hoje em dia alguns dos nós das mesmas são selecionados para construir uma estrutura intermédia (*hub* logístico). Subsequentemente, a procura de muitos destinos é satisfeita através desta estrutura intermédia, sendo esta responsável pela maioria dos fluxos das rotas.

A localização das instalações de *hub* é fundamental para uma boa conceção das redes *hub-spoke*, pois o custo de transporte total do sistema, o nível das Instalações das centrais, o tempo de serviço e congestionamento são fatores críticos para o sucesso das empresas (Shahin Gelareh, 2008).

A utilização destas instalações de *hub* e o encaminhamento dos fluxos consolidados através de ligações entre *hubs* permitem uma melhor manipulação das mercadorias e do custo de transporte por unidade de fluxo, de modo a ser menos dispendioso do que o transporte direto através de uma estrutura de rede sem *hubs*. Por outras palavras, as redes de *hub* aproveitam economias de escala, através das conexões entre *hubs* (Shahin Gelareh, 2008).

Geralmente, as principais preocupações na projeção das redes de *hub* são as localizações dos *hubs* e a alocação de nós não *hub*, de modo a obter uma estrutura de rede menos

dispendiosa, tendo em conta o custo de instalação e os custos de transporte. Sendo assim, distingue-se entre *single allocation* e *multiple allocation*, como representado na Figura 3.

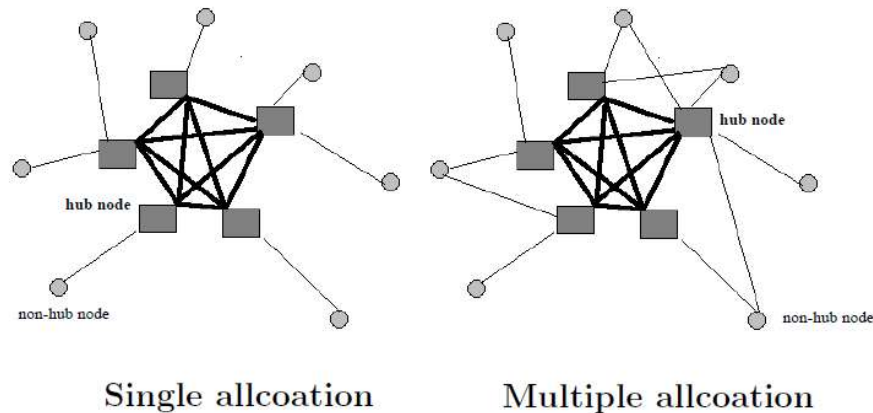


Figura 3 - Single e Multiple allocation (Shahin Gelareh, 2008)

Nas redes HLP de *single allocation*, cada nó não *hub*, só pode enviar/receber mercadoria de um único nó *hub*, já na *multiple allocation* os nós não *hub* podem enviar/receber mercadoria de um ou mais nós *hubs* (Shahin Gelareh, 2008).

Pode-se assim dizer que as redes de localização dos *hubs* podem ser vistas como redes de dois níveis, a rede que conecta os *hubs* entre si e a rede que conecta os nós não *hub* a nós *hubs* (Shahin Gelareh, 2008). Na projeção destas redes, deve se ter em conta, os seguintes pressupostos (Shahin Gelareh, 2008):

- Observar a rede de *hubs* como um todo e não em parcelas;
- Conexões diretas entre nós não *hub* não são permitidas;
- Os custos que são proporcionais às distâncias.

Na projeção destas redes de localização, como o principal objetivo é minimizar os custos de instalação e de transporte, por vezes gera-se soluções que tendem a sobrecarregar um pequeno número de *hubs*, levando aos efeitos de congestionamento. Grove e O'Kelly são dos primeiros autores a estudar os efeitos do congestionamento nas redes de *hub*. Eles demonstraram que os atrasos de cronograma dos sistemas das linhas aéreas são influenciados pela quantidade de fluxo nos *hubs*, através da simulação uma rede de *hub* de atribuição única com locais de *hubs* fixos (Shahin Gelareh, 2008).

De modo a colmatar este problema de congestionamento surgem os *hubs* de logística, tendo estes um papel fundamental nos padrões de distribuição das redes de transporte,

uma vez que são estruturas concentradas (Vieira & Luna, 2016). Um *hub* de logística é uma área definida dentro da qual são realizadas todas as atividades relacionadas com o transporte, a logística e a distribuição de mercadorias, para o mercado nacional e/ou internacional (Consulting & Management, 2013).

A localização destes *hubs* é um elemento chave para aumentar a eficiência das rotas, logo, a localização de um centro intermodal de logística deve ser selecionado com cuidado, caso contrário, pode causar consequências irreversíveis no planejamento, mas também pode criar estrangulamentos que levam a um rápido aumento nos custos de fornecimento das soluções de transporte (Consulting & Management, 2013).

Através dos estudos da literatura e da discussão com os especialistas na área da logística e análise da localização de instalações, chega-se à conclusão que existem diversos critérios já identificados para a avaliação das instalações dos *hubs* logísticos, sendo estes critérios classificados em dois níveis (Consulting & Management, 2013):

- Principais critérios:
 - Infraestrutura;
 - Proximidade com mercado;
 - Disponibilidade de terras;
 - Apoio governamental e industrial;
 - Oferta de mão-de-obra.
- Subcritérios:
 - Sistemas adequados de transferência multimodal;
 - Bons sistemas de telecomunicações;
 - Taxa portuária razoável;
 - Cargas adequadas e instalações de movimentação de contentores;
 - Capacidade de lidar com todos os tipos de mercadorias;
 - Ligações ferroviárias e rodoviárias disponíveis com áreas de consumo e industriais locais.

Os *hubs* de logística são estruturas logísticas de grande escala, que oferecem serviços de valor acrescentado, com impacto na eficiência dos sistemas de transporte, uma vez que

afetam diretamente o fluxo das mercadorias. De modo a alcançar uma maior eficiência, é necessário posicionar corretamente estes *hubs* na estrutura da rede.

Portanto, na escolha da localização do *hub* logístico, não se deve apenas ter em consideração a quantidade a instalar, mas sim o local e capacidade dos mesmos (Consulting & Management, 2013), pois estes também servem de armazenamento e envio de mercadoria. Na instalação dos *hubs* logísticos deve-se ter em conta a afetação dos fluxos de mercadorias e o próprio desenho da estrutura da rede (Consulting & Management, 2013). Esta escolha é considerada uma decisão estratégica a longo prazo, devido à grande quantidade de capital investido e ao tempo de vida útil destas instalações.

Já em 1994, Izquierdo (Vieira & Luna, 2016) apontou que de entre os critérios que mais impacto tem nos projetos de instalação dos *hubs* de logística, a localização parece ser um elemento decisivo crucial.

A escolha da localização destes *hubs*, não afeta só o sucesso das atividades operacionais, mas também da gestão da cadeia de abastecimento e do planeamento da rede de transporte, influenciando os sistemas de distribuição como um todo. Consequentemente, a conceção de uma rede de transporte torna-se estrategicamente importante para as empresas, uma vez que tem grande impacto na forma como os produtos irão ser movimentados nos canais de distribuição disponíveis (Consulting & Management, 2013).

Como resultado, a localização ideal de um *hub* logístico pode levar a custos de transporte reduzidos, promovendo a sincronização entre a produção e o consumo, assegurando um desenvolvimento equilibrado da cadeia de abastecimento, obtendo melhores benefícios globais. Uma melhor localização irá efetivamente ajudar na expansão das economias de escala, bem como aumentar a vantagem competitiva, obtendo uma maior satisfação por parte dos clientes através do transporte mais eficiente (Vieira & Luna, 2016).

Uma forma de ajudar na escolha da localização dos nós *hubs*, assim como na melhoria da sustentabilidade das cadeias de abastecimento é através do conceito de PI, que será apresentado de seguida.

2.2. PHYSICAL INTERNET

O PI é um conceito inovador e abrangente que visa otimizar os processos logísticos para criar cadeias de abastecimento mais eficientes e eficazes, mas também para as tornar economicamente, ambientalmente e socialmente sustentáveis. Isto irá refletir-se na forma como os objetos físicos são transportados, manipulados, armazenados, fornecidos e utilizados no mundo. Permitindo entre outras coisas, uma melhor mobilidade dos objetos físicos dentro de um conjunto interconectado de *hubs*. Este conceito vem revolucionar os campos referentes ao transporte de materiais, logística e design das instalações.

O PI é definido como "um sistema global de logística baseado na interconexão de redes logísticas por um conjunto padronizado de protocolos de colaboração, contentores modulares e interfaces inteligentes para uma maior eficiência, sustentabilidade e eficácia das cadeias de valor no fluxo de informação e colaboração horizontal e vertical" (Treiblmaier, Mirkovski, & Lowry, 2016).

Até à data, a literatura PI não é um tema muito estruturado, devido a três principais razões. Uma das razões é que por ser um conceito inovador que ainda não está suficientemente bem estudado para conseguir uma grande influência nas principais SCM. Uma das outras razões é que foram publicados diversos artigos relacionados com este tema, mas como era a indústria a grande consumidora dos mesmos e não as instituições académicas, fez com que a maioria dos artigos careça de fundamentação teórica, tendo realçado a vertente mais técnica. A última razão é que a maioria das publicações sobre este tema são conceptuais e envolvem modelações e simulações quantitativas (Treiblmaier et al., 2016).

Posto isto, conclui-se que a construção de uma teoria e a revisão da literatura são raras, o que contribui ainda mais para a falta de abordagem de uma pesquisa equilibrada sobre PI, reforçando assim o seu potencial emergente.

A primeira vez que o termo PI foi usado, foi num título da revista britânica 'The Economist' em 2006 (Markillie & Markillie, 2007), que continha uma pesquisa de logística realizada por Markillie e uma diversidade dos principais artigos da cadeia de abastecimento. Markillie inspirou uma equipa de investigadores de modo a investigar se é possível organizar os fluxos físicos de mercadorias em semelhança ao fluxo de dados através da

Digital Internet (Treiblmaier et al., 2016). Esta metáfora não só despertou o interesse da comunidade acadêmica, assim como da indústria. Segundo Montreuil a definição de PI, têm por base as seguintes questões (Treiblmaier et al., 2016):

- Reduzida utilização do espaço para o transporte rodoviário, ferroviário, marítimo e aéreo;
- Ineficiência no retorno dos contentores;
- Escassez de motoristas dos camiões;
- Uso impróprio de instalações de produção e de armazenamento;
- Fraca coordenação dentro das redes de distribuição;
- Elevadas ineficiências no transporte multimodal;
- Falta de eficiência na distribuição de produtos;
- Limitadas oportunidades de inovação, que tornam insustentáveis as atuais práticas logísticas.

Além disso, também delineou os seguintes princípios:

- Responsabilidade;
- Metas a atingir;
- Abertura;
- Universalidade;
- Interconectividade;
- Uniformidade;
- Acessibilidade;
- Unicidade;
- Encapsulamento;
- Agenciamento;
- Contratação;
- Certificação.

Montreuil afirma que a forma como os objetos físicos são atualmente transportados, manipulados, armazenados, fornecidos e usados no mundo não é economicamente, ambientalmente e socialmente sustentável (Hakimi, Montreuil, Sarraj, Ballot, & Pan,

2012). Esta afirmação tem como base os treze sintomas da insustentabilidade global, que são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Fatores de insustentabilidade (Montreuil, 2011)

Sintomas de insustentabilidade	Características da PI
Envio de embalagens	<ul style="list-style-type: none"> • Objetos encapsulados em contentores modulares e padronizados mundialmente; • Design de produtos para contentorização;
Viagem sem produtos é a norma e não a exceção	<ul style="list-style-type: none"> • Interconectividade universal • Transporte intermodal distribuído em multissegmento
Motoristas tornam-se um robô dos transportes	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas de manuseamento e armazenamento de contentores • Transporte intermodal distribuído em multissegmento
Maioria dos produtos ficam armazenados onde é desnecessário, mas muitas vezes indisponíveis rapidamente onde é necessário	<ul style="list-style-type: none"> • Contentores em redes inteligentes que incorporam objetos inteligentes • Fornecimento web globalmente aberto
Instalações de produção e armazenamento são mal utilizadas	<ul style="list-style-type: none"> • Objetos encapsulados em contentores modulares e padronizados mundialmente • Interconectividade universal • Sistemas de manuseamento e armazenamento de contentores • Fornecimento web globalmente aberto • Design de produtos para contentorização • Materialização de produtos próximos do ponto de uso
Muitos produtos nunca são vendidos nem usados	<ul style="list-style-type: none"> • Fornecimento web globalmente aberto • Materialização de produtos próximos do ponto de uso • Confiabilidade e capacidade de recuperação das redes • Inovação nos modelos de negócio
Produtos não chegam aos clientes que mais precisam deles	<ul style="list-style-type: none"> • Interconectividade universal • Estrutura conceitual unificada de várias camadas • Fornecimento web globalmente aberto • Materialização de produtos próximos do ponto de uso • Confiabilidade e capacidade de recuperação das redes
Produtos fazem viagens desnecessárias	<ul style="list-style-type: none"> • Interconectividade universal • Contentores em redes inteligentes que incorporam objetos inteligentes • Transporte intermodal distribuído em multissegmento • Monitorização do desempenho aberto e certificação de capacidades • Inovação de infraestruturas abertas

Tabela 1 (cont) - Fatores de insustentabilidade (Montreuil, 2011)

Sintomas de insustentabilidade	Características da PI
Transporte intermodal rápido e confiável ainda não é utilizado	<ul style="list-style-type: none"> • Objetos encapsulados em contentores modulares e padronizados mundialmente • Interconectividade universal • Sistemas de manuseamento e armazenamento de contentores • Contentores em redes inteligentes que incorporam objetos inteligentes • Transporte intermodal distribuído em multissegmento • Estrutura conceitual unificada de várias camadas • Monitorização do desempenho aberto e certificação de capacidades • Inovação de infraestruturas abertas
Obter produtos dentro e fora das cidades é um pesadelo	<ul style="list-style-type: none"> • Objetos encapsulados em contentores modulares e padronizados mundialmente • Interconectividade universal • Contentores em redes inteligentes que incorporam objetos inteligentes • Transporte intermodal distribuído em multissegmento • Estrutura conceitual unificada de várias camadas • Fornecimento web globalmente aberto • Materialização de produtos próximos do ponto de uso
As redes não são seguras nem robustas	<ul style="list-style-type: none"> • Objetos encapsulados em contentores modulares e padronizados mundialmente • Interconectividade universal • Contentores em redes inteligentes que incorporam objetos inteligentes • Transporte intermodal distribuído em multissegmento • Fornecimento web globalmente aberto • Monitorização do desempenho aberto e certificação de capacidades

Tabela 1 (cont) - Fatores de insustentabilidade (Montreuil, 2011)

Sintomas de insustentabilidade	Características da PI
Automação inteligente e tecnológica são difíceis de justificar	<ul style="list-style-type: none"> • Objetos encapsulados em contentores modulares e padronizados mundialmente • Interconectividade universal • Sistemas de manuseamento e armazenamento de contentores • Contentores em redes inteligentes que incorporam objetos inteligentes • Estrutura conceitual unificada de várias camadas • Monitorização do desempenho aberto e certificação de capacidades • Confiabilidade e capacidade de recuperação das redes • Inovação nos modelos de negócio • Inovação de infraestruturas abertas
A inovação é estrangulada	<ul style="list-style-type: none"> • Objetos encapsulados em contentores modulares e padronizados mundialmente • Interconectividade universal • Sistemas de manuseamento e armazenamento de contentores • Contentores em redes inteligentes que incorporam objetos inteligentes • Estrutura conceitual unificada de várias camadas • Confiabilidade e capacidade de recuperação das redes • Inovação nos modelos de negócio • Inovação de infraestruturas abertas

Montreuil propôs evoluir para uma PI mundial, com o objetivo de melhorar, por ordem de grandeza, a eficiência e a sustentabilidade da logística, no seu sentido amplo. A PI explora o conceito de interconectividade universal das redes e serviços logísticos, propondo encapsular mercadorias e produtos em contentores padronizados e modulares.

Estes contentores seriam distribuídos nas redes já estruturadas e padronizadas a nível mundial, tornando os sistemas de transporte multimodal mais são rápidos, confiáveis e ecológicos, sendo isto possível através das instalações logísticas (Hakimi et al., 2012).

Associado ao termo PI, surge a *Web Logistics*, que é definida como o conjunto global de pessoas, de redes físicas e digitais e de organizações que atendem às necessidades da

logística em constante evolução e dinâmica mundial. Na procura da eficiência e da sustentabilidade, a PI tem como principal objetivo permitir que a *Web Logistics* seja simultaneamente mais aberta, global e ao mesmo tempo confiável, resiliente e adaptável (Hakimi et al., 2012).

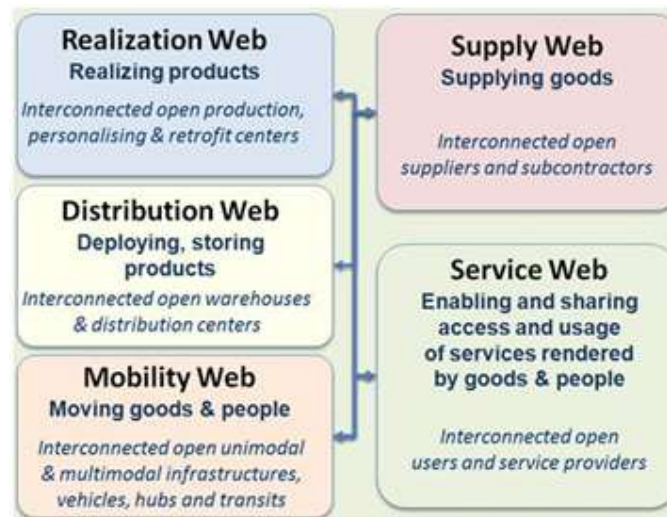


Figura 4 - PI e os seus principais componentes (Sohrabi, Klibi, & Montreuil, 2012)

Conforme ilustrado na Figura 4, a Web Logistics pode ser concebida em quatro formas de conexão (Hakimi et al., 2012):

- *Mobility Web*
 - Lida com objetos físicos em movimento dentro do conjunto interconectado global de hubs, portos, estradas e caminhos abertos unimodal e multimodal.
- *Distribution Web*
 - Relaciona-se com a implantação de objetos no conjunto interconectado global distribuído por armazéns abertos, centros de distribuição e áreas de armazenamento.
- *Realization Web*
 - É sobre como fazer, montar, personalizar e adaptar objetos como o melhor ajuste dentro do conjunto interconectado global de fábricas abertas de todos os tipos.

- Supply Web
 - É sobre o fornecimento e obtenção dos objetos, através do conjunto interconectado global de fornecedores.

A visão de Montreuil em relação à PI é feita com base num meio de enfrentar o "grande desafio da sustentabilidade logística global" (Treiblmaier et al., 2016). Desta forma, pode-se obter outra definição de PI, que é "um sistema global de logística aberto, baseado na interconectividade física, digital e operacional através do encapsulamento, interfaces e protocolos. Trata-se de um sistema em constante evolução, impulsionado pela inovação tecnológica, infraestrutural e empresarial". Consequentemente, Montreuil definiu o objetivo do movimento PI como transformar "a forma como os objetos físicos são manipulados, movidos, armazenados, realizados, fornecidos e utilizados, visando a eficiência e sustentabilidade logística global"(Treiblmaier et al., 2016).

O termo PI também foi definido por Ballot como "um sistema de logística global baseado na interconexão de redes logísticas por um conjunto padronizado de protocolos de colaboração, recipientes modulares e interfaces inteligentes para aumento da eficiência e sustentabilidade " (Treiblmaier et al., 2016).

Existem diversos exemplos de aplicações da *PI*, que descrevem os ganhos consideráveis que podem vir a ser alcançados, como por exemplo Sarraj utilizou dados que representam o fluxo de bens de consumo rápido na França para testar vários protocolos e cenários de transporte. Eles concluem que a PI é muito eficiente dentro das redes de abastecimento de bens de consumo de dois grandes retalhistas e relata efeitos positivos nas emissões de gases de efeito estufa, custo, *lead time*⁵ (Treiblmaier et al., 2016).

É crucial distinguir claramente a PI dos seus conceitos. A PI é uma aplicação da Internet das Coisas (Treiblmaier et al., 2016), que descreve uma rede de objetos físicos envolvendo

⁵ É o tempo total entre o momento do pedido de material e a sua entrega efetiva ao cliente (Move Ideias, 2017).

tecnologia para ser feita a troca de dados, no domínio do SCM. Da mesma forma, impulsiona a criação de canais de entrega inovadores para os serviços, seja na área da troca de dados ou na logística, que geralmente é apelida pelo termo Internet de Serviços (Treiblmaier et al., 2016).

A principal forma como o PI atinge os seus objetivos é através da aplicação metafórica e dos conceitos da *Digital Internet*, como por exemplo, existem os processos marítimos no mundo real, cujos contentores físicos são tratados como os pacotes de informação da internet (Treiblmaier et al., 2016). Seguindo esta metáfora, o PI não manipula fisicamente os bens diretamente, mas manipula e gere os contentores de transporte que contêm produtos, assim como os pacotes digitais da Internet que contêm dados incorporados (Treiblmaier et al., 2016).

São apresentadas de seguida duas aplicações do conceito PI (Treiblmaier et al., 2016):

- Rougès e Montreuil (Treiblmaier et al., 2016) utilizaram o conceito para resolver as limitações da distribuição ponto-a-ponto e o processamento de encomendas por indivíduos;
- Zhong (Treiblmaier et al., 2016) forneceu um sistema demonstrativo que contempla a aplicação PI na melhoria da logística do chão de fábrica;
- Hakimi (Treiblmaier et al., 2016) realizou uma simulação para estudar e quantificar o impacto em termos de eficiência econômica, ambiental e social e desempenho para evoluir do sistema atual de transporte de mercadorias para uma logística aberta.

A PI combina padrões, modulares e inteligentes com novos protocolos de logística e modelos de negócios, resultando num sistema de logística e distribuição colaborativo, altamente distribuído e alavancado (Montreuil et al., 2010).

Neste contexto, as mercadorias são colocadas em contentores de dimensões modulares, dos quais se pode chamar de π -contentores. Cada um destes tem um identificador físico da Internet, que é utilizado para os encaminhar até ao seu destino utilizando o/os meios de transporte, armazenagem e manuseamento altamente eficientes e partilhados (Montreuil et al., 2010).

Estes π -contentores tendem a ser standard, inteligentes, ecológicos e modulares. São notavelmente modulares e padronizados em todo o mundo em termos de dimensões, funções e acessórios. As especificações funcionais dos π - contentores são (Montreuil, 2011):

- Agrupar volumes de mercadoria para facilitar o seu manuseamento, movimentação, armazenagem e transporte de carga, porém para o PI a mercadoria não é tratada de forma explícita, mas sim as dimensões dos contentores;
- Vários tamanhos modulares e adaptativos às cargas dos contentores;
- Fácil de fluir através de vários transportes, manuseamento e modos de armazenamento e meios;
- Habilitado com etiquetas inteligentes e com sensores, para caso seja necessário permitir a sua identificação adequada, encaminhamento e manutenção correta;
- Feito de materiais amigos do ambiente, com o mínimo impacto ambiental (reduzindo a pegada ecológica);
- Estruturas adaptáveis;
- Boa capacidade de acondicionamento (por exemplo, temperatura), conforme necessário;
- Seláveis para fins de segurança.

Com o desenvolvimento de um conjunto de protocolos e de contentores padronizados, o objetivo da PI é transitar de uma organização fragmentada e difícil de otimizar para uma organização aberta e distribuída.

Esta mudança de paradigma através da PI, indica que a logística atualmente está baseada nas redes operacionais fechadas com meios heterogêneos, que deve ser repensada para um sistema como a *Digital Internet*.

As redes seriam interconectadas através de um quadro operacional comum facilitando a desagregação do transporte e manuseamento das cargas. Isto permite, por exemplo, o transporte de menos carga, conseqüentemente os custos totais de transporte seriam menores, permitindo ainda integrar progressivamente redes de logística atualmente dedicadas a um sistema universalmente interligado (Montreuil et al., 2010).

Para o fornecedor de serviços de logística, o manuseamento de contentores padronizados que não precisam de seguir a mesma rota permite recursos localmente focados e altamente utilizados. A implantação da PI levará inevitavelmente a uma profunda reorganização das redes e recursos de transporte e logística (Montreuil et al., 2010).

Com a implementação da PI nas empresas, não só se consegue colmatar a falta de motoristas para os diversos transportes, de grandes ou pequenas dimensões, de longo curso ou não. De notar ainda que nos últimos tempos tem-se assistido à falência de várias empresas, que levam ao despedimento dos motoristas, mas também de referir que a média dos salários destes trabalhadores também não é atrativa, aliado a isto as estradas estão cada vez mais congestionadas, os prazos de entrega são apertados e a vigilância é constante, o que faz com que exista cada vez menos motoristas para o transporte de mercadorias.

Ser motorista de longo curso é um trabalho exigente, a semana média de trabalho representa 48 horas de condução, que podem ser extensíveis a 60 horas. Por exemplo, no Reino Unido, um motorista de pesados com esta especialização ganha hoje em dia, em média, um salário bruto mensal de 2.060 Libras (cerca de 2.500 euros), na Holanda ronda os 1.800 euros e na Alemanha, os 2.000 euros, em Portugal, andarà à volta dos 1.700 euros. E não parece que as condições de trabalho, tal como os ordenados, possam alguma vez melhorar, já que as transportadoras dos países da Europa Ocidental estão cada vez mais a empregar condutores da Europa de Leste, que fazem o mesmo trabalho por metade do salário (Petrus, 2016).

O PI não terá unicamente impacto na alocação dos motoristas e na sua satisfação (número de noites dormidas fora de casa), mas também terá um enorme impacto na forma como os bens, valorizados por pessoas, serão projetados, produzidos e distribuídos para as cidades e as famílias.

Um objetivo fundamental no conceito e implementação da PI é a universalidade e interconectividade dos centros de logística, que exploram protocolos de padrão mundial tornando-se rápidos, baratos, fáceis e confiáveis para interligar π - contentores através dos nós e rotas. Os nós da PI são simultaneamente locais de encaminhamento e de

armazenamento dentro das redes, bem como portas de interface com as entidades externas da PI (Montreuil, 2011).

O PI tem como funcionalidade generalizar/padronizar operações, tais como (Montreuil, 2011):

- Descarregamento;
- Orientação;
- Armazenamento;
- Carregamento.

Estas funcionalidades são amplamente aplicáveis aos π -contentores de uma forma mais automatizada e/ou com intervenção/supervisão humana.

Um dos principais objetivos da interconectividade universal através da PI é fazer com que o transporte de mercadorias não seja temporalmente e economicamente prejudicial, através de camiões a transportar volumes pequenos em cada viagem (Montreuil, 2011).

Não existem sistemas genéricos na PI, mas sim sistemas com o objetivo de manusear e armazenar materiais. Estes sistemas têm processos inovadores que exploram as características dos π -contentores, permitindo que sejam velozes, baratos, fáceis e confiáveis. Conseguindo ainda fazer a monitorização, proteção e saída através da automação inteligente, sustentável e sem intervenção humana. Os π -sistemas de movimentação e de armazenamento de contentores têm como capacidades funcionais (Montreuil, 2011):

- Permitir a entrada rápida e confiável, assim como ter um bom desempenho de saída;
- Comunicação perfeita com veículos e sistemas de movimentação de produtos bem como com os sistemas de software dos clientes no rastreamento e interface com os π -contentores;
- Monitorização de modo a assegurar a integridade do π -contentor.

Num cenário real, irá acontecer a seguinte situação, um camião de Los Angeles para Québec (Figura 5), terá dois motoristas atribuídos para transportar um reboque numa

viagem de 2 a 6 horas de distância. O reboque dará entrada num *hub*, aí um dos motoristas irá transitar para outro caminhão, com outro reboque para o transportar para outro destino. Já o segundo motorista iria ficar com o caminhão e o reboque inicial e seguir o seu percurso normal em direção a Québec, até encontrar uma outra paragem para poder transferir os contentores para outro caminhão com um destino diferente ou rececionar outros contentores (Montreuil, 2011).

O processo seria repetido até que todos os contentores cheguem a Los Angeles. A pessoa responsável pelo trabalho dos motoristas teria a priori de providenciar transporte em cada segmento e permanência em cada *hub*, nos seus melhores interesses em termos de preço, tempo e risco. As decisões de roteamento teriam de ser dinâmicas e/ou distribuídas, havendo a possibilidade de adaptação das rotas em cada viagem.

A Figura 5, constata a forma de como a PI, assumindo um transporte baseado numa distribuição simples de um caminhão, o condutor iria viajar mais de 10.000 km de ida e volta num intervalo de tempo de menos de 240h, com os contentores a chegarem a Los Angeles depois de 120h (meramente ilustrativo). De uma forma distribuída, com 17 motoristas com um caminhão em média e com 6h de viagem, havia assim a possibilidade dos motoristas retornarem a casa com o mesmo caminhão no próprio dia (Montreuil, 2011).

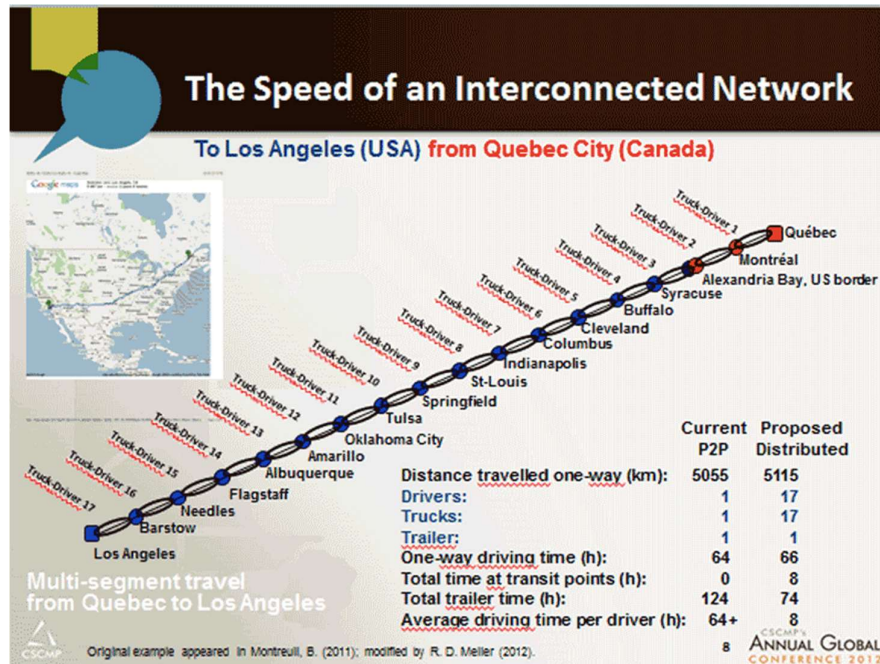


Figura 5 - Futuro da cadeia de abastecimento (Gilmore, 2013)

3. PROBLEMA

Nesta secção será descrito o problema real analisado no desenvolvimento deste trabalho. Começando com uma pequena descrição do problema em análise, a metodologia utilizada, os dados para a resolução do problema, o modelo matemático utilizado e a análise de dados daí resultante.

3.1. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Este problema surge com o objetivo de localizar os *PI-hubs* na Península Ibérica, para que os custos de transporte sejam reduzidos e também para que os motoristas passem um número de noites dormidas fora de casa, tudo isto é possível através da PI.

Na União Europeia, mais de dois terços da população vive em áreas urbanas e 67% do PIB europeu é gerado nas “regiões metropolitanas”, logo as cidades têm um papel fundamental como motores de desenvolvimento da economia (Diário Imobiliário, 2015).

Neste relatório a análise do espaço geográfico restringe-se a dois países da União Europeia, que são Portugal e Espanha, que constituem a Península Ibérica. Através da Figura 6 observa-se que a mesma se situa no canto sudoeste da Europa, podendo assim dizer que Portugal e Espanha são países periférico. Visto serem periféricos, os mesmos têm uma vantagem ao nível da PI, que é a proximidade com o mar, sendo esta, uma das razões que leva à análise desta península, mas também por ser uma escolha natural, porque poderá existir a possibilidade da utilização deste modelo num contexto real nas empresas portuguesas.

O mar é um recurso natural que sempre desempenhou um papel importantíssimo no processo histórico. Hoje, num mundo globalizado, o seu papel nas trocas comerciais dá-nos novas oportunidades para funcionarmos como entreposto entre produtores e consumidores de todos os continentes (Leite, 2016). As cidades selecionadas do espaço

geográfico em análise (Figura 6) tiveram como único critério, a sua dimensão populacional (cidades com mais de 700 mil habitantes), que é apresentada na Tabela 2, sendo as 12 primeiras cidades as pré-selecionadas e as restantes 6 cidades, são resultado da verificação das cidades como mais ligações (rotas).

Tabela 2 - População das cidades

Índice	Cidade	Distrito (POR)/Província (ESP)	População
1	Porto	Porto	2.027.196
2	Lisboa	Lisboa	2.250.520
3	Vigo	Pontevedra	944.346
4	Bilbao	Viscaya	1.133.444
5	La Coruña	La Coruña	1.126.707
6	Madrid	Madrid	6.436.986
7	Sevilla	Sevilla	1.811.177
8	Barcelona	Barcelona	5.309.404
9	Valencia	Valencia	2.402.582
10	Granada	Granada	854.419
11	Córdoba	Córdoba	784.376
12	Zaragoza	Zaragoza	890.090
13	Linares	Jaén	660.284
14	Mérida	Badajoz	662.808
15	Salamanca	Salamanca	352.414
16	Calatayud	Zaragoza	27.198
17	Aranda de Duero	Burgos	352.373
18	Valladolid	Valladolid	513.712



Figura 6 - Mapa da Península Ibérica (João Leitão, 2018)



Figura 7 - Rotas entre as principais cidades

Na Figura 7, é possível observar as possíveis rotas entre as diversas cidades, sendo que as cidades de Linares, Mérida, Salamanca, Calatayud, Aranda de Duero e Valladolid, são consideradas os nós da rede com mais ligações entre cidades, que posteriormente foram acrescentadas à Tabela 2, sendo estas as possíveis cidades de comutação de mercadoria e/ou motorista das principais rotas, podendo estas serem nós *hubs* ou não.

3.2. METODOLOGIA

Para que seja possível o transporte de mercadorias entre as principais cidades, a forma mais utilizada é o transporte rodoviário. Tendo por base um estudo realizado pela Eurostat que fez as contas ao transporte de mercadorias na Europa, concluindo que 75% é realizado por estrada. Só um quarto do volume total usa os caminhos de ferro ou a circulação marítima, estudo esse que foi realizado com base em dados de 2015 (Margarida Cardoso, 2017).

Após terem sido selecionadas as 18 cidades da Tabela 2, é realizado o estudo do fluxo de mercadorias entre as mesmas. Para o cálculo desse fluxo adotou-se a distâncias entre as cidades, cujos valores são apresentados em quilómetros na Tabela 3.

Para a correta análise deste problema, foi realizado um estudo individual das duas principais formas no transporte das mercadorias, sendo estas feitas por via marítima e por via terrestre, todo esse estudo prévio é apresentado nas duas subsecções seguintes.

Tabela 3 - Distância entre cidades

D_{ij}	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	0	313	166	709	300	561	583	1157	919	836	635	850	744	419	349	691	495	403
2		0	462	864	610	625	464	1247	882	703	503	939	614	289	468	857	677	586
3			0	664	160	590	731	1149	948	1009	783	842	888	567	420	731	535	437
4				0	543	402	864	609	611	811	786	302	687	671	397	337	240	279
5					0	592	925	1082	950	1010	977	781	884	733	460	714	531	439
6						0	511	621	362	420	394	317	296	343	215	231	161	189
7							0	994	639	214	141	817	236	195	465	734	667	648
8								0	351	845	861	316	762	956	833	390	583	680
9									0	487	521	308	422	594	573	283	504	552
10										0	201	726	138	438	632	640	575	608
11											0	701	120	247	517	617	550	583
12												0	602	654	538	88	281	373
13													0	357	507	515	448	484
14														0	272	570	501	395
15															0	447	212	120
16																0	198	290
17																	0	95
18																		0

3.3. FLUXO MARÍTIMO

Verificou-se quais as cidades de entre as selecionadas (Tabela 2), as que tem porto marítimo, que são: Porto, Lisboa, Vigo, Bilbao, Barcelona, Valencia e Sevilha. Após essa verificação realizou-se o estudo de envio e receção de mercadorias em toneladas para o ano de 2015. Os valores apresentados na Tabela 4, para o porto marítimo da cidade do Porto (Douro e Leixões) e Lisboa, tem por base um estudo realizado pelo Instituto da Mobilidade e dos Transportes (IMT) (IMT, 2015).

Tabela 4 - Envio e recepção de mercadoria em toneladas dos portos marítimos

Cidade	Envio	Recepção
Porto	6.020.254	8.551.338
Lisboa	3.933.166	5.254.915
Vigo	1.109.808	994.858
Bilbao	3.205.360	1.964.726
Barcelona	7.511.119	4.016.862
Valencia	23.582.825	18.230.970
Sevilha	1.367.625	1.430.506

Os valores finais resultam da aproximação dos valores apresentados no artigo (IMT, 2015) na página 31.

$$7.126.404 \approx 4 * 1.781.601 \quad - \text{ envio da cidade do Porto}$$

$$4.729.772 \approx 4 * 1.182.443 \quad - \text{ envio da cidade do Lisboa}$$

$$10689172 \approx 2672293 * 4 \quad - \text{ recepção da cidade do Porto}$$

$$6568644 \approx 1642161 * 4 \quad - \text{ recepção da cidade de Lisboa}$$

Os valores apresentados para a cidade de Vigo encontram-se no relatório anual de estatísticas do ano 2015 (Vigo, 2015), para a cidade de Bilbao os valores de fluxo foram retirados do relatório anual de estatísticas do ano 2015 (Puerto de Bilbao, 2015), para a cidade de Barcelona os valores são apresentados iterativamente no site oficial no porto de Barcelona (Moyzis, R.K., Buckingham, J.M., Cram, L.S., Dani, M., Deaven, L.L., Jones, M.D., Meyne, J., Ratliff, R.L., and Wu, 1988), para a cidade de Valencia os valores são obtidos através do relatório anual de 2015 (Puerto de Bilbao, 2015) e por fim para a cidade de Sevilha os valores apresentados encontram-se o relatório de estatísticas anuais de 2015 (Sevilla, 2015). É de salientar que os valores apresentados na Tabela 4, foram todos multiplicados por 80 % do valor original, isto de modo a realizar uma análise mais realista, prevê-se que 20 % da mercadoria tem como destino o consumo da própria cidade.

Depois de conhecidos os valores anteriores, procede-se agora ao cálculo da quantidade de fluxo (mercadoria) enviada a partir de cada porto, tendo em conta o número de habitantes da cidade de destino e a distância entre as cidades, de acordo com a Tabela 2 e a Tabela 3:

$$F_{ij} = MT_j * \frac{\frac{N_j}{D_{ij}}}{\sum_{i=1; j \neq i} \frac{N_j}{D_{ij}}} \quad (1)$$

F_{ij} - Fluxo entre a cidade i (origem) e a cidade j (destino)

N_j - Número de habitantes da cidade j

D_{ij} - Distância entre a cidade i e j

MT_j - Mercadoria total rececionada na cidade j

A equação 1, foi desenvolvida para a resolução do problema proposto e tem com base o rácio da distância entre cidades e a da densidade demográfica das mesmas. Com base nesta equação e com os dados da Tabela 4, obtém-se a Tabela 5, que indica o fluxo marítimo para o espaço geográfico analisado.

Na Tabela 5, verifica-se que existem ligações entre cidades em que não existe qualquer movimentação no fluxo marítimo, como por exemplo entre a cidade de Madrid e a cidade de Granada ($F(6,10)$), pois as mesmas não possuem porto marítimo.

Tabela 5 - Fluxo marítimo

F_{ij}	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	0	145316	87579	27778	46573	142288	445220	705822	916556	12674	15317	96450	11005	19616	12522	3625	88277	15807
2	136908	0	25314	18845	17344	967125	441893	526703	873001	11412	14643	66113	10098	21536	70711	2213	48876	82319
3	168747	481247	0	12026	14574	225804	99109	233348	626690	17526	20733	16250	15389	24194	17366	572	13632	24330
4	518603	369852	13345	0	13257	102309	174405	816860	114220	67315	63762	139870	61409	63114	56718	3830	93810	11764
5	793880	288128	17672	10385	0	0	37798	146238	573028	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	424535	281213	47924	14028	0	0	68421	254797	150380	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	499068	505100	72323	99436	31721	328051	0	298288	949836	10397	14487	21073	72862	88518	19737	717	13758	20645
8	596098	542920	20766	50714	23193	230873	441017	0	307552	22521	20291	465981	19300	15442	94230	11537	13462	16826
9	120601	129453	45741	88857	50908	763268	1271359	694374	0	75308	64623	921351	67161	47896	26399	30640	30010	39947
10	284885	250011	28023	69537	0	0	163379	187253	111781	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	375061	349419	36111	71749	0	0	247965	183774	104486	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	280193	187176	33581	18673	0	0	42794	500725	176745	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	320113	286251	31841	82088	0	0	148148	207650	128999	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	568410	608159	49868	84046	0	0	179298	165512	916459	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	682418	375551	67322	14205	0	0	75189	189951	950046	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	344666	205085	38680	16734	0	0	47634	405716	192359	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	481139	259613	52851	23497	0	0	52418	271405	108011	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	590977	299928	64703	20213	0	0	53955	232690	986189	0	0	0	0	0	0	0	0	0

3.4. FLUXO TERRESTRE

Para a resolução deste problema é necessário saber além do fluxo marítimo, o fluxo terrestre entre as diversas cidades em análise. Através de um relatório do Instituto Nacional de Estatística, obtém-se a informação do fluxo movimentado para o ano de 2015, para as cidades de Porto e Lisboa (Ine & Na Internet, 2017), para as restantes cidades, a análise foi realizada consoante a comunidade a que pertencem, sendo esses dados obtidos através de estudos estatísticos do Ministério da Indústria, Comércio e Turismo (DataComex, 2017), estes dados são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Envio e receção de mercadoria em toneladas do fluxo terrestre

Cidade	Comunidade autónoma	Envio	Receção
Porto		1.480.800	1.804.000
Lisboa		1.373.600	1.443.200
Bilbao	Pais basco	13.078.118	19.823.408
Barcelona	Catalunha	25.303.777	40.543.625
Valladolid			
Salamanca	Castela e Leão	4.329.679	3.657.616
Aranda de Duero			
Madrid	Madrid	8.925.738	15.094.735,11
Zaragoza			
Calatayud	Aragão	3.534.559	4.134.675
Granada			
Linares			
Córdoba	Andaluzia	23.581.987	38.970.816
Sevilla			
Mérida	Extremadura	1.465.071	1.124.256,99
La Coruña			
Vigo	Galiza	9.358.065	17.570.872
Valencia	Comunidade Valenciana	18.183.883	15.959.102

Visto no fluxo terrestre as cidades estarem agrupadas por comunidade autónoma (Espanha) e distritos (Portugal), será necessário realizar cálculos auxiliares para estimar a quantidade de fluxo enviado e rececionado nas respetivas cidades de cada comunidade autónoma com influência direta da densidade populacional das mesmas. Para isso utilizou-se a seguinte fórmula:

$$F_c = \frac{P_c * F_{ca}}{P_{ca}} \quad (2)$$

F_c - Fluxo de mercadoria (envio/receção) da cidade pertencente à comunidade autónoma

P_c - Número de habitantes da cidade pertencente à comunidade autónoma

F_{ca} - Fluxo de mercadoria enviada/rececionada pela comunidade autónoma

P_{ca} - Número de habitantes da comunidade autónoma para as cidades a considerar

Com os dados da Tabela 6 e com a equação 2, obtém se a Tabela 7.

Tabela 7 - Envio e receção de mercadoria das cidades das comunidades autónomas

Cidade	Envio	Receção
Valladolid	1.825.367	1.542.029
Salamanca	1.252.229	1.057.855
Aranda de Duero	1.252.083	1.057.732
Zaragoza	3.429.759	2.067.338
Calatayud	104.800	4.012.080
Granada	4.902.103	122.594
Linares	3.788.282	6.260.390
Córdoba	4.500.242	7.436.951
Sevilla	10.391.361	17.172.421
La Coruña	5.091.032	9.559.014
Vigo	4.267.033	8.011.858

Depois de obtida os dados da mercadoria enviada e recebida das cidades pertencentes às comunidades autónomas conclui-se que o fluxo terrestre em toneladas para o espaço geográfico analisado é o apresentado na Tabela 8. Os dados da Tabela 8 são obtidos através da resolução da equação 1 com os dados apresentados na Tabela 6 e Tabela 7.

Tabela 8 - Fluxo terrestre em toneladas

F_{ij}	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	0	372276	1544263	851027	1130712	881491	814134	1519519	597827	282467	293630	138386	208899	112076	93595	4806	60823	107726
2	371649	0	559506	701333	560282	814612	1031794	1419518	629091	338667	374227	127422	255570	167698	71506	3947	45653	76075
3	1269374	490088	0	992059	2463960	1370933	770293	1755748	703298	275387	287047	191322	211333	139905	118748	6360	88438	156749
4	804848	724528	708023	0	1094431	4855007	1023903	4860459	1789355	529673	463131	1056707	443806	293600	283234	28124	457821	572426
5	918915	489402	2079515	1280012	0	1714719	671482	2021706	782857	302222	255775	242785	236223	137196	132971	7732	110369	193531
6	735555	720955	672084	1919479	855516	0	1454984	4100206	2502899	864227	768757	787874	856200	423758	395247	31853	511892	633177
7	770443	1058495	565722	916725	569475	3064600	0	2657828	1485656	1768076	2248379	325326	1124283	806616	196403	10692	133078	198959
8	1329798	1363724	801594	2300755	1046444	8092151	1760007	0	6383116	991160	857773	2354820	813865	537114	336991	57601	477062	595577
9	774692	887600	565351	1536779	708224	6630936	1582001	9487487	0	1004356	803638	1237561	831563	409438	239107	40190	266744	354193
10	266594	341275	305377	820622	397020	2017739	2681987	2425081	1398633	0	1141600	229244	1388574	190185	82258	7519	85961	117730
11	292334	394779	371363	820232	389245	1850765	3834563	2266734	1222645	1329819	0	214094	1495780	287955	88034	6989	78099	106591
12	182623	175529	328521	2078489	465294	1995783	628532	5924148	1951187	350523	289998	0	281713	93554	74773	44369	134056	145947
13	212669	273857	313075	916127	412963	2169516	2187234	2467031	1432504	1853206	1703734	229313	0	174129	80373	7660	85247	114045
14	225938	337676	438100	885011	449842	1283850	2355908	1792274	890891	522726	728161	168409	419791	0	109191	5424	54177	98966
15	238626	181510	578805	1479788	703055	1880010	966082	2021116	899988	354675	339361	195427	288277	138457	0	6575	118695	301714
16	76383	59611	313119	1692648	429207	1330542	574902	4112071	1694507	330156	265233	1042592	264509	48575	50152	0	100312	98196
17	159322	118233	450543	2437527	604427	2423476	667590	2867965	1012816	386597	315893	367263	323031	72288	127134	14545	0	369333
18	237208	168289	569415	2130325	752277	2345524	710232	2523297	960667	377212	309116	296372	310263	105535	248841	10705	287408	0

3.5.DADOS

Depois de conhecido o fluxo marítimo (Tabela 5) e o fluxo terrestre (Tabela 8), é necessário converter esse fluxo, em número de contentores marítimos e *trailers*. Sabendo que cada contentor marítimo de tamanho *standard* leva no máximo 22 toneladas, então para a análise deste problema, analisou-se a carga destes contentores em 70% da sua capacidade total(WALTER, 2017), resultando assim no número de contentores necessários para transportar a mercadoria entre as cidades (Tabela 9) . A mesma análise é feita para o número de *trailers* (atrelado do camião) necessários para transportar as mercadorias entre as diversas cidades, sendo que cada *trailer* transporta no máximo 25 toneladas e considerando apenas 70% do seu carregamento (LKW WALTER, 2017), obtém-se a Tabela 10.

Depois de obtidas a Tabela 9 e Tabela 10, fazendo o somatório de ambas obtém-se o número de contentores, que somando ao números de *trailers*, indica o número necessário para efetuar o transporte das mercadorias , originando a Tabela 11.

Tabela 9 - Número de contentores marítimos

N_{ij}	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	0	94361	56870	18038	30243	92395	28910	45833	59517	8230	9947	6263	7146	12738	8131	235	5732	10265
2	88902	0	16438	12238	11263	62800	28694	34202	56688	7411	9509	4293	6557	13985	4592	144	3174	5345
3	109576	31250	0	7809	9464	14663	6436	15152	40694	1138	1346	1055	999	1571	1128	37	885	1580
4	33676	24016	8666	0	8609	66435	11325	53043	74169	4371	4140	9082	3988	4098	3683	249	6092	7639
5	51551	18710	11475	6744	0	0	2454	9496	37210	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	27567	18261	3112	9109	0	0	4443	16545	97650	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	32407	32799	4696	6457	2060	21302	0	19369	61678	6752	9407	1368	4731	5748	1282	47	893	1341
8	38708	35255	13485	32931	15061	149918	28637	0	199709	14624	13176	30259	12533	10027	6119	749	8742	10926
9	78312	84061	29702	57700	33058	495629	82556	450893	0	48902	41963	59828	43612	31102	17143	1990	19487	25940
10	18499	16234	1820	4515	0	0	10609	12159	72585	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	24355	22690	2345	4659	0	0	16102	11933	67849	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	18194	12154	2181	12126	0	0	2779	32515	114770	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	20787	18588	2068	5330	0	0	9620	13484	83766	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	36910	39491	3238	5458	0	0	11643	10748	59510	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	44313	24386	4372	9224	0	0	4882	12334	61691	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	22381	13317	2512	10866	0	0	3093	26345	124909	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	31243	16858	3432	15258	0	0	3404	17624	70137	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	38375	19476	4201	13125	0	0	3504	15110	64038	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabela 10 - Número de trailers

N_{ij}	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	0	21273	88244	48630	64612	50371	46522	86830	34162	16141	16779	7908	11937	6404	5348	275	3476	6156
2	21237	0	31972	40076	32016	46549	58960	81115	35948	19352	21384	7281	14604	9583	4086	226	2609	4347
3	72536	28005	0	56689	140798	78339	44017	100328	40188	15736	16403	10933	12076	7995	6786	363	5054	8957
4	45991	41402	40458	0	62539	277429	58509	277740	102249	30267	26465	60383	25360	16777	16185	1607	26161	32710
5	52509	27966	118829	73144	0	97984	38370	115526	44735	17270	14616	13873	13498	7840	7598	442	6307	11059
6	42032	41197	38405	109684	48887	0	83142	234297	143023	49384	43929	45021	48926	24215	22586	1820	29251	36182
7	44025	60485	32327	52384	32541	175120	0	151876	84895	101033	128479	18590	64245	46092	11223	611	7604	11369
8	75988	77927	45805	131472	59797	462409	100572	0	364750	56638	49016	134561	46507	30692	19257	3291	27261	34033
9	44268	50720	32306	87816	40470	378911	90400	542142	0	57392	45922	70718	47518	23396	13663	2297	15243	20240
10	15234	19501	17450	46893	22687	115299	153256	138576	79922	0	65234	13100	79347	10868	4700	430	4912	6727
11	16705	22559	21221	46870	22243	105758	219118	129528	69865	75990	0	12234	85473	16455	5030	399	4463	6091
12	10436	10030	18773	118771	26588	114045	35916	338523	111496	20030	16571	0	16098	5346	4273	2535	7660	8340
13	12153	15649	17890	52350	23598	123972	124985	140973	81857	105897	97356	13104	0	9950	4593	438	4871	6517
14	12911	19296	25034	50572	25705	73363	134623	102416	50908	29870	41609	9623	23988	0	6239	310	3096	5655
15	13636	10372	33075	84559	40175	107429	55205	115492	51428	20267	19392	11167	16473	7912	0	376	6783	17241
16	4365	3406	17893	96723	24526	76031	32852	234975	96829	18866	15156	59577	15115	2776	2866	0	5732	5611
17	9104	6756	25745	139287	34539	138484	38148	163884	57875	22091	18051	20986	18459	4131	7265	831	0	21105
18	13555	9617	32538	121733	42987	134030	40585	144188	54895	21555	17664	16936	17729	6031	14220	612	16423	0

Tabela 11 - Número de *trailers* e contentores

N_{ij}	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	0	115634	145113	66668	94855	142766	75432	132662	93678	24371	26726	14171	19083	19142	13480	510	9208	16420
2	110139	0	48410	52314	43279	109350	87654	115317	92636	26763	30893	11574	21161	23567	8678	369	5783	9693
3	182112	59255	0	64498	150262	93002	50452	115481	80883	16874	17749	11988	13075	9566	7913	401	5939	10537
4	79667	65418	49124	0	71148	343864	69834	330783	176418	34638	30605	69466	29348	20875	19868	1856	32253	40349
5	104060	46675	130305	79888	0	97984	40825	125022	81944	17270	14616	13873	13498	7840	7598	442	6307	11059
6	69599	59458	41517	118794	48887	0	87585	250843	240672	49384	43929	45021	48926	24215	22586	1820	29251	36182
7	76432	93284	37023	58841	34601	196422	0	171245	146572	107785	137886	19958	68976	51840	12505	658	8498	12710
8	114696	113182	59290	164403	74858	612326	129209	0	564459	71262	62192	164820	59039	40720	25375	4041	36002	44959
9	122581	134781	62008	145515	73527	874540	172956	993035	0	106294	87885	130546	91129	54498	30806	4286	34730	46179
10	33733	35736	19270	51408	22687	115299	163865	150735	152507	0	65234	13100	79347	10868	4700	430	4912	6727
11	41059	45248	23566	51529	22243	105758	235219	141461	137714	75990	0	12234	85473	16455	5030	399	4463	6091
12	28630	22184	20953	130897	26588	114045	38695	371037	226266	20030	16571	0	16098	5346	4273	2535	7660	8340
13	32939	34237	19958	57681	23598	123972	134605	154457	165623	105897	97356	13104	0	9950	4593	438	4871	6517
14	49820	58787	28272	56030	25705	73363	146266	113163	110418	29870	41609	9623	23988	0	6239	310	3096	5655
15	57949	34758	37446	93783	40175	107429	60087	127827	113119	20267	19392	11167	16473	7912	0	376	6783	17241
16	26746	16724	20404	107589	24526	76031	35945	261321	221738	18866	15156	59577	15115	2776	2866	0	5732	5611
17	40347	23614	29177	154546	34539	138484	41552	181507	128012	22091	18051	20986	18459	4131	7265	831	0	21105
18	51930	29092	36740	134858	42987	134030	44088	159298	118933	21555	17664	16936	17729	6031	14220	612	16423	0

Outro dado importante para a resolução do problema é o custo de transporte das mercadorias entre as cidades, esse custo é calculado com base na Tabela 3 e sabendo que por cada km percorrido o custo associado é de 0.90 euros (Filipe Madeira, 2018), fazendo a multiplicação desse custo pelos quilómetros percorridos, obtém-se a Tabela 12.

Tabela 12 - Custo de transporte

C_{ij}	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	0	282	149	638	270	505	525	1041	827	752	572	765	670	377	314	622	446	363
2		0	416	778	549	563	418	1122	794	633	453	845	553	260	421	771	609	527
3			0	598	144	531	658	1034	853	908	705	758	799	510	378	658	482	393
4				0	489	362	778	548	550	730	707	272	618	604	357	303	216	251
5					0	533	833	974	855	909	879	703	796	660	414	643	478	395
6						0	460	559	326	378	355	285	266	309	194	208	145	170
7							0	895	575	193	127	735	212	176	419	661	600	583
8								0	316	761	775	284	686	860	750	351	525	612
9									0	438	469	277	380	535	516	255	454	497
10										0	181	653	124	394	569	576	518	547
11											0	631	108	222	465	555	495	525
12												0	542	589	484	79	253	336
13													0	321	456	464	403	436
14														0	245	513	451	356
15															0	402	191	108
16																0	178	261
17																	0	86
18																		0

Para a resolução deste problema existem ainda outros dois custos, que se deve ter em conta, nomeadamente o custo de instalação dos nós *hubs*, que é calculado com base no artigo (S Gelareh & Nickel, 2011) e calcula-se através da seguinte fórmula, com o devido ajuste de escala:

$$F_k = \frac{\sum_j W_{ij}}{\max_k d_k} * 10^6 \quad (3)$$

d_k - Distância da localização mais remota até k

W_{ij} - Fluxo entre as cidades i e j

Outro dos custos que é necessário determinar, é o custo de estabelecimento de ligações entre nós e é calculado também tem como base no artigo (S Gelareh & Nickel, 2011), através da seguinte fórmula:

$$FL_{kl} = \frac{\frac{d_{kl}}{w_{kl}}}{\max_{i,j \neq i} \frac{d_{ij}}{w_{ij}}} * 10^7 \quad (4)$$

Posto isto, é apresentado na Tabela 13 e na Tabela 14, respetivamente, os custos de F_k e FL_{kl} .

Tabela 13 - Valores de F_k

F_k	Valor
1	872877710
2	639598294
3	774574405
4	1696196496
5	738637715
6	1949868014
7	1242692973
8	1877171751
9	3331890973
10	921345855
11	1033708179
12	1129019332
13	1114633934
14	818217585
15	926991476
16	1069686096
17	1306791076
18	1269302772

Uma das vertentes importantíssimas para a resolução deste problema é a componente social de cada motorista, ou seja, resume-se no modo de como o desconforto é minimizado, através do menor número de noites dormidas fora de casa em cada viagem. Para isso é necessário fazer cálculos prévios. Sabendo que a Tabela 3, representa a distância em quilómetros entre as cidades e sabendo que os camiões circulam a uma velocidade média aproximadamente de 75 km/h, obtém-se a Tabela 15, que resulta da multiplicação da velocidade média dos camiões pela distância entre cidades.

Tabela 14 - Custo de estabelecimento de ligações

FL_{kl}	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	0	11663	4929	45824	13628	16932	33302	37579	42271	147808	102379	258457	167989	94315	111561	5837840	231638	105751
2	12245	0	41122	71164	60732	24628	22809	46595	41025	113182	70157	349570	125023	52839	232383	10000000	504469	260509
3	3928	33596	0	44359	4588	27335	62431	42872	50503	257647	190086	302644	292630	255407	228695	7863681	388167	178703
4	38347	56909	58242	0	32885	5037	53310	7933	14923	100886	110661	18733	100865	138500	86100	782463	32063	29794
5	12422	56313	5291	29288	0	26033	97630	37291	49954	251998	288030	242566	282183	402868	260857	6963464	362786	171047
6	34732	45293	61234	14581	52179	0	25139	10667	6481	36646	38646	30339	26069	61035	41018	546838	23716	22508
7	32867	21433	85076	63270	115190	11210	0	25011	18785	8555	4406	176384	14743	16208	160231	4810010	338206	219687
8	43466	47474	83503	15961	62281	4370	33148	0	2679	51093	59653	8261	55613	101162	141447	415892	69775	65171
9	32304	28197	65875	18092	55672	1784	15919	1523	0	19742	25544	10166	19953	46964	80146	284500	62530	51506
10	106786	84764	225620	67976	191827	15696	5627	24155	13759	0	13277	238803	7494	173660	579347	6418529	504392	389420
11	66638	47899	143168	65725	189266	16053	2583	26226	16301	11397	0	246897	6049	64681	442837	6656653	531030	412428
12	127927	182381	173151	9941	126568	11977	90977	3670	5865	156179	182274	0	161136	527127	542546	149556	158060	192714
13	97325	77275	191720	51321	161414	10288	7555	21257	10979	5615	5311	197956	0	154596	475665	5069972	396280	320016
14	36238	21183	86414	51602	122870	20146	5745	36401	23180	63183	25578	292828	64126	0	187839	7923558	697307	300964
15	25950	58016	48329	18240	49337	8623	33345	28079	21826	134366	114876	207586	132617	148135	0	5126173	134681	29991
16	111324	220809	154369	13497	125439	13091	87988	6431	5499	146172	175412	6365	146814	884830	672078	0	148839	222694
17	52864	123532	79008	6691	66245	5009	69167	13840	16965	112153	131288	57694	104577	522604	125740	1026485	0	19396
18	33439	86792	51252	8914	44004	6076	63331	18393	19999	121540	142216	94902	117630	282228	36363	2042788	24924	0

Tabela 15 - Distância em horas

D_{ij}	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	0	4	2	9	4	7	8	15	12	11	8	11	10	6	5	9	7	5
2		0	6	12	8	8	6	17	12	9	7	13	8	4	6	11	9	8
3			0	9	2	8	10	15	13	13	10	11	12	8	6	10	7	6
4				0	7	5	12	8	8	11	10	4	9	9	5	4	3	4
5					0	8	12	14	13	13	13	10	12	10	6	10	7	6
6						0	7	8	5	6	5	4	4	5	3	3	2	3
7							0	13	9	3	2	11	3	3	6	10	9	9
8								0	5	11	11	4	10	13	11	5	8	9
9									0	6	7	4	6	8	8	4	7	7
10										0	3	10	2	6	8	9	8	8
11											0	9	2	3	7	8	7	8
12												0	8	9	7	1	4	5
13													0	5	7	7	6	6
14														0	4	8	7	5
15															0	6	3	2
16																0	3	4
17																	0	1
18																		0

Após obtida a Tabela 15 e com as restrições temporais de condução dos motoristas representada na Tabela 16 (Filipe Madeira, 2009), é apresentado na Tabela 17, o tempo efetivo de viagem dos motoristas, contando com as pausas diárias, indicando assim o tempo que os motoristas levam para fazer o percurso de ida de uma cidade para outra.

Tabela 16 - Tempos de pausa nas viagens (Filipe Madeira, 2009)

Tempo máximo de condução contínua	4 h 30 m → 270 min
Interrupção mínima de condução continua (pausa)	45 minutos
Tempo máximo de condução diária	9 h → 540 min
Repouso diário em cada período de 24 h	11 h → 660 min

Depois de obtida a Tabela 17, procede-se ao cálculo da componente social dos motoristas nomeadamente às noites dormidas fora. Esta análise é feita só para as viagens de uma origem para um ou mais destinos, tendo em conta que o motorista tem sempre de regressar a casa no fim de cada viagem. Na Tabela 18 é feita a análise do número de noites que os motoristas terão ou não de dormir fora para completar as viagens.

Tabela 17 - Tempo de viagem em horas

D_{ij}	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	0	4	2	9,75	4	7,75	8,75	27,5	23,75	22,75	8,75	22,75	21,75	6,75	5,75	9,75	7,75	5,75
2		0	6,75	23,75	8,75	8,75	6,75	28,5	23,75	9,75	7,75	24,75	8,75	4	6,75	22,75	9,75	8,75
3			0	9,75	2	8,75	21,75	27,5	24,75	24,75	21,75	22,75	23,75	8,75	6,75	21,75	7,75	6,75
4				0	7,75	5,75	23,75	8,75	8,75	22,75	21,75	4	9,75	9,75	5,75	4	3	4
5					0	8,75	23,75	26,75	24,75	24,75	24,75	21,75	23,75	21,75	6,75	21,75	7,75	6,75
6						0	7,75	8,75	5,75	6,75	5,75	4	4	5,75	3	3	2	2,52
7							0	24,75	9,75	3	2	22,75	3	3	6,75	21,75	9,75	9,75
8								0	5,75	22,75	22,75	4	21,75	24,75	22,75	5,75	8,75	9,75
9									0	6,75	7,75	4	6,75	8,75	8,75	4	7,75	7,75
10										0	3	21,75	2	6,75	8,75	9,75	8,75	8,75
11											0	9,75	2	3	7,75	8,75	7,75	8,75
12												0	8,75	9,75	7,75	1	4,75	5,75
13													0	5,75	7,75	7,75	6,75	6,75
14														0	4	8,75	7,75	5,75
15															0	6,75	3	2
16																0	3	4
17																	0	1
18																		0

Tabela 18 - Valores na matriz *Social Cost*

Tempo de viagem em horas D_{ij}	valor na matriz S_{ij}
menor que 5,25 não dorme fora	0
entre 5,25 e 9,75 dorme 1 noite fora	1
entre 9,75 e 26 dorme 2 noite fora	2
entre 26 e 30,5 dorme 3 noite fora	3

De forma a compreender os valores da Tabela 18, é feita uma breve explicação. Como o tempo de condução máxima seguida é de 4,5h e com um período de descanso de 0,75 h, conclui-se que ao fim de 5,25h (4,5+0,75) de tempo de viagem o motorista pode regressar a casa no mesmo dia. Mas caso tenha de continuar a viagem e como o tempo total de condução num dia é de 9h, então o motorista ao fim de 9,75h (4,5+0,75+4,5), para regressar a casa já tem de dormir 1 noite fora. Ao fim de 9,75h, o motorista tem de parar 11h seguidas (repouso diário), podendo de seguida voltar a conduzir 4,5h, resultando em 26h (9,75+11+4,5+0,75) de viagem, fazendo com que o motorista tenha de dormir 2 noites fora de casa. Por fim e visto só se poder conduzir 9h por cada dia, então o motorista passará 3 noites foras em tempos de viagem até um total de 30,5h (26+4,5+0,75). Esta análise está espelhada na Tabela 19, que representa o número de noites dormidas fora.

Tabela 19 - Número de noites dormidas fora

S_{ij}	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	0	0	0	1	0	1	1	3	2	2	1	2	2	1	1	1	1	1
2		0	1	2	1	1	1	3	2	1	1	2	1	0	1	2	1	1
3			0	1	0	1	2	3	2	2	2	2	2	1	1	2	1	1
4				0	1	1	2	1	1	2	2	0	1	1	1	0	0	0
5					0	1	2	3	2	2	2	2	2	2	1	2	1	1
6						0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0
7							0	2	1	0	0	2	0	0	1	2	1	1
8								0	1	2	2	0	2	2	2	1	1	1
9									0	1	1	0	1	1	1	0	1	1
10										0	0	2	0	1	1	1	1	1
11											0	1	0	0	1	1	1	1
12												0	1	1	1	0	0	1
13													0	1	1	1	1	1
14														0	0	1	1	1
15															0	1	0	0
16																0	0	0
17																	0	0
18																		0

Depois desta abordagem inicial chega-se à conclusão que este problema, passa por resolver duas grandes componentes, uma componente em que importa reduzir custos e outra que importa reduzir o desconforto dos motoristas, isto através da PI é chamado de multiobjectivo.

O problema matemático de otimização multiobjectivo consiste na obtenção de um conjunto de variáveis que satisfaçam as restrições e otimize uma função constituída por diversos termos ou funções objetivas, sendo que o grande objetivo da otimização por multiobjectivo é minimizar/maximizar simultaneamente todas as funções objetivas.

Uma otimização por multiobjectivo normalmente surge em vários problemas de modelação de engenharia, aplicações financeiras entre outros problemas, onde o decisor escolhe entre vários objetivos concorrentes para satisfazer a função objetivo.

Devido a se ter várias funções objetivas, é possível que não haja uma solução única que otimiza todos os objetivos simultaneamente. Na verdade, na maioria dos casos, há infinitas soluções ideais. Uma solução ótima no contexto multiobjectivo é uma solução em que não existe nenhuma outra solução viável que melhora o valor de, pelo menos, uma função objetivo sem deteriorar qualquer outro objetivo.

Esta é a noção de Ótimo de Pareto, que por definição, um conjunto de soluções S é Pareto-ótimo se não existir um outro conjunto de soluções viáveis S^* que possa melhorar algum objetivo, sem afetar negativamente em pelo menos um outro objetivo. Por outras palavras, uma solução S pertence ao conjunto de soluções Pareto-ótimo S se não existe solução S^* que domine S . Considerando um problema de minimização, temos:

- S domina S^* se, e somente se, $S \leq S^*$ para todos os objetivos;
- S e S^* são indiferentes ou possuem o mesmo grau de dominância se, e somente se, S não domina S^* e S^* não domina S .

Do ponto de vista matemático, cada solução ótima é tão aceitável como a solução para o problema de otimização multiobjectivo. No entanto, por razões práticas apenas uma solução deve ser escolhida no final. Devido à complexidade dos métodos de solução encontrados, assim como a escolha de um ponto desejável para fora do conjunto de soluções ótimas, é necessário envolver um tomador de decisão. É uma pessoa que tem conhecimento sobre o problema e que é capaz de expressar relações de preferência entre soluções diferentes.

Para ajudar o decisor na escolha da solução ótima, previamente pode ser feita a definição dos critérios de busca antes da execução dos mesmos, juntando os objetivos do problema num único objetivo, segundo uma determinação de pesos da preferência do mesmo. Em consequência o problema passa a ter um único objetivo, requerendo métodos de resolução exatos e diretos, tais como:

- Método das restrições;
- Método da soma ponderada;
- Método de programação por metas.

Neste contexto foi abordado o método da soma ponderada, consistindo na transformação do problema multiobjectivo num problema de um único objetivo através da atribuição de pesos aos coeficientes de cada objetivo, reformulando a função objetivo para ficar com um aspeto semelhante ao da equação seguinte:

$$\sum_{i=1}^k w_i * f_i \quad (5)$$

Para se alcançar as soluções ótimas de *Pareto*, este problema deve ser resolvido iterativamente. Estes coeficientes no contexto deste problema são o β (beta) e γ (gama),

conseguindo assim atribuir às várias parcelas da função objetivo vários pesos, o que facilita a análise dos vários cenários daí resultantes. Estes pesos são atribuídos pelo decisor que é feito com base no conhecimento intrínseco do problema. Esses pesos são calculados segundo a seguinte fórmula:

$$w_i = u_i * \theta_i \quad (6)$$

u_i - pesos atribuídos pelo decisor ($\beta \in Y, \beta + Y = 1$)

θ_i - fator de normalização

Existe uma outra solução associada termo de ótimo de *Pareto* que é o ponto de *Utopia*, que é representado na equação seguinte:

$$Z_i^* = f_i(x^{[l]}) \text{ onde } Z_i^* = \operatorname{argmin}_x \{f_i(x) : x \in \Omega\} \quad (7)$$

Sendo o vetor ideal objetivo o $Z^U = z^*$ chamado de ponto *Utopia*, normalmente não é viável por causa da natureza conflituosa dos objetivos individuais. O ponto *Utopia* fornece os limites inferiores do conjunto ótimo de *Pareto*. Os limites superiores do conjunto ótimo de *Pareto* são obtidos dos componentes de um ponto de *Nadir* Z^N . são definidos como:

$$Z_i^N = \max_{1 \leq j \leq k} (f_i(x^{[l]})), \forall_i = 1, \dots, k \quad (8)$$

No entanto, como existe várias funções objetivo, esta mesma tem diferentes escalas, daí ser necessário fazer a normalização dos objetivos para se poder obter uma solução ideal *Pareto*.

A normalização desempenha um papel importante para assegurar a consistência das soluções ideais com as preferências expressas pelo decisor e é feita da seguinte forma:

$$\theta_i = \frac{1}{Z_i^N - Z_i^U} \quad (9)$$

A normalização de algumas variáveis vem de encontro à necessidade de harmonizar escalas com a normalização dos valores dos atributos. Este processo, corresponde numericamente à adaptação de escalas para se construir um gráfico XY com duas grandezas diferentes. A normalização, não deve ser entendida como um processo de agregação num único atributo, mas sim para assegurar a consistência das soluções (Mausser, 2006).

3.6. MODELO MATEMÁTICO

O modelo apresentado tem como base um artigo que propôs a formulação para a alocação múltipla de localização de hub, adaptado para o projeto de rede de transporte urbano e marítimo (Hakimi et al., 2012), indo de encontro ao modelo pretendido com as adaptações corretas.

Este modelo foi concebido com seis variáveis de decisão, que nos irão dar informação da localização dos hubs e também com seis parâmetros pré-definidos. As variáveis são as seguintes:

- $X_{ijkl} = 1, i \neq j, k \neq l$ se o melhor caminho de i para j passar por k e l ou 0 caso contrário;
- $a_{ijk} = 1, j \neq i, k \neq i$ se o melhor caminho de i para j passar por k e i ou 0 caso contrário. O nó i não pode ser considerado nó hub e o nó k é considerado nó *hub*;
- $b_{ijk} = 1, j \neq i, k \neq i$ se o melhor caminho de i para j passar por k e j ou 0 caso contrário. O nó j não pode ser considerado nó hub e o nó k é considerado nó *hub*;
- $e_{ij} = 1, j \neq i, k \neq i$ se o melhor caminho de i para j passar por i e j ou 0 caso contrário. Não pode existir dois nós i e j iguais pertencentes à mesma rede geográfica;
- $h_k = 1$, caso o nó k seja escolhido para nó *hub* ou 0 caso contrário;
- $y_{kl} = 1, k < l$, se o percurso entre k e l estiver estabelecido ou 0 caso contrário.

Em relação aos parâmetros, são os seguintes:

- C_{ij} - Corresponde ao custo de cada transporte, que está relacionado diretamente à distância entre os nós;
- F_k - Corresponde ao custo de instalação dos nós *hubs*;
- FL_{kl} - Corresponde ao custo fixo de estabelecimento de ligação entre nós;
- N_{ij} - Corresponde ao fluxo (em camiões ou contentores) do nó i para o nó j ;
- S_{ij} - Corresponde ao número de noites dormidas fora.

Depois de conhecidas as variáveis e os parâmetros do problema, passa-se à formulação do mesmo, nomeadamente à função objetivo e às restrições. Todo este problema e como já explicado tem o objetivo de minimizar os custos de transporte e isso é calculado através da seguinte expressão, denominada de função objetivo:

$$FO1 = \left(\sum_{i,j,k,l,i \neq j,k \neq l} N_{ij} * C_{kl} * X_{ijkl} * + \sum_{i,j,k,i \neq j,k \neq i} N_{ij} * C_{ik} * a_{ijk} + \sum_{i,j,k,i \neq j,k \neq i} N_{ij} * C_{kj} * b_{ijk} \right. \\ \left. + \sum_{i,j,i \neq j} N_{ij} * C_{ij} * e_{ij} + \sum_k F_k * h_k + \sum_{k,l,k > l} FL_{kl} * Y_{kl} \right) \quad (10)$$

$$FO2 = \left(\sum_{i,j,k,l,i \neq j,k \neq l} N_{ij} * S_{kl} * X_{ijkl} * + \sum_{i,j,k,i \neq j,k \neq i} N_{ij} * S_{ik} * a_{ijk} + \sum_{i,j,k,i \neq j,k \neq i} N_{ij} * S_{kj} * b_{ijk} \right. \\ \left. + \sum_{i,j,i \neq j} N_{ij} * S_{ij} * e_{ij} \right) \quad (11)$$

$$\text{Logo, } FO = (\theta1 * FO1 * \gamma) + (\theta2 * FO2 * \beta) \quad (12)$$

As restrições são as seguintes:

$$Y_{kl} < h_k, k,l > k \quad (13)$$

$$Y_{kl} < h_l, k,l > k \quad (14)$$

$$\sum_{i \neq l} X_{ijil} + \sum_{l \neq i,j} a_{ijl} + e_{ij} = 1, \quad i, j \neq i \quad (15)$$

$$\sum_{j \neq l} X_{ijil} + \sum_{l \neq i,j} b_{ijl} + e_{ij} = 1, \quad i, j \neq i \quad (16)$$

$$\sum_{l \neq k,i} X_{ijkl} + b_{ijk} = \sum_{l \neq k,j} X_{ijlk} + a_{ijk}, \quad i, j \neq i, k \neq i, j \quad (17)$$

$$x_{ijkl} + x_{ijlk} \leq y_{kl}, \quad i, j \neq i, k \neq i, j \quad (18)$$

$$\sum_{l \neq k} X_{kjkl} \leq h_k, \quad j, k \neq j \quad (19)$$

$$\sum_{k \neq l} X_{ilk} \leq h_l, \quad i, l \neq i \quad (20)$$

$$a_{ijk} \leq 1 - h_i, \quad i, j \neq i, k \neq i, j \quad (21)$$

$$b_{ijl} \leq 1 - h_j, \quad i, j \neq i, l \neq i, j \quad (22)$$

$$a_{ijk} + \sum_{l \neq j,k} X_{ijlk} \leq h_k, \quad i, j \neq i, k \neq i, j \quad (23)$$

$$b_{ijk} + \sum_{l \neq k,i} X_{ijkl} \leq h_k, \quad i, j \neq i, k \neq i, j \quad (24)$$

$$e_{ij} + 2 * x_{ijij} + \sum_{l \neq j, i} X_{ijil} + \sum_{l \neq j, i} X_{ijlj} + \leq h_i + h_j, \quad i, j \neq i \quad (25)$$

A restrição 13 e 14, garantem que ambos os nós de destinos sejam nós *hubs*, da restrição 15 até à 17, garante-se a conservação de fluxo. Através da restrição 18 garante-se que existe um nó *hub* antes de ser usado qualquer rota de fluxo. Na restrição 19 e 20 é assegurado que apenas pode existir fluxo de origem num nó *hub*, permitindo selecionar outro *hub* como destino. A restrição 21 e 22 serve como verificação dos nós *hubs* do percurso, ou seja, qualquer fluxo entre o nó *i* e o nó *j*, com origem num nó diferente dos anteriores é considerado esse nó como *hub*. Isto é assegurado pelas restrições 23 e 24, a escolha no percurso entre origem e destino dos *hubs*, depende do estado dos nós *i* e *j*, que poderão ser: ou ambos nós *hubs*, nenhum ou só apenas um deles é nó *hub*. Esta confirmação de nó *hub* ou não é feita na restrição 25, pois os parâmetros do problema tomam soluções binárias.

Antes de iniciar a análise de resultados é necessário analisar os valores do ponto de *Utopia* e o ponto de *Nadir*. Através da equação 7 e 8, é possível obter o seguinte gráfico:

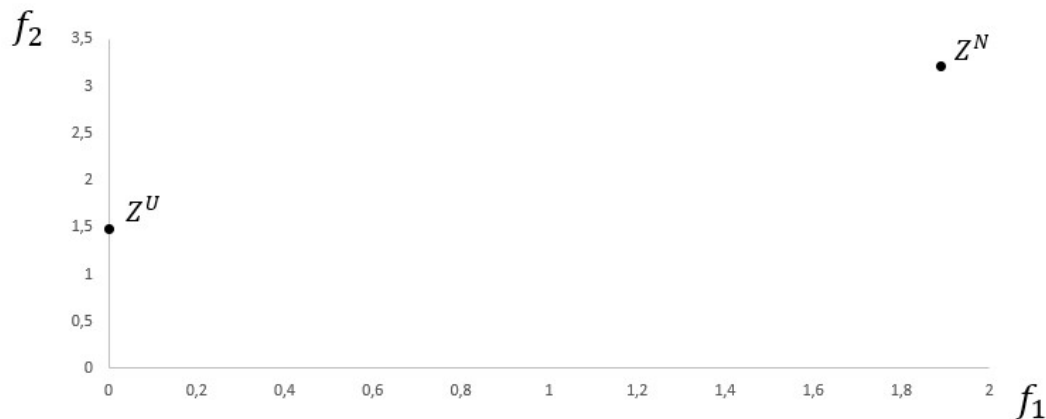


Figura 8 - Ponto de *Utopia* e *Nadir*

De referir que os valores apresentados na Figura 8, não está incluído os fatores de escalas multiplicativos, de modo a que a análise desses mesmo ponto ser mais fácil, os valores originais são apresentados na equação 25 e 26. Depois de obtidos o valor destes dois pontos, já é possível calcular os dois fatores de normalização do problema em análise, como apresentados:

$$\theta_1 = \frac{1}{Z_1^N - Z_1^U} = \frac{1}{3,2e^{+10} - 1,4e^{+10}} = 5,7e^{-11} \quad (25)$$

$$\theta_2 = \frac{1}{Z_2^N - Z_2^U} = \frac{1}{1,8e^{+7} - 0} = 5,2e^{-8} \quad (26)$$

Com todos os dados conhecidos e com o problema matemático definido, resta correr o mesmo com a ajuda do programa CPLEX, este programa foi executado num computador com um processador de Intel(R) Core™ i7-6500U CPU @ 2.50Hz e com uma memória RAM de 8 GB.

3.7. ANÁLISE DE RESULTADOS

Nesta subsecção são apresentados os resultados e respetiva análise. Foram efetuados vários estudos, de modo a obter vários resultados e poder tirar uma conclusão dos mesmos.

Neste cenário não foi feita qualquer tipo de alteração aos dados inicialmente previstos. Na Tabela 20 é apresentada a variação do β e γ de modo a obter vários valores para a função objetivo.

Tabela 20 - Cenário

γ	β	FO	FO1	FO2	Nó <i>hub</i>	Tempo de execução (segundos)
0,9	0,1	0,846	1,50E+10	1,37E+07	1 12 13	23,66
0,8	0,2	0,826	1,52E+10	1,25E+07	1 12 13	31,23
0,7	0,3	0,790	1,60E+10	9,72E+06	1 12 13 17	59,15
0,6	0,4	0,736	1,84E+10	5,08E+06	1 11 12 14 15 17	78,19
0,5	0,5	0,644	2,13E+10	1,39E+06	1 2 11 12 14 15 17	74,23
0,4	0,6	0,530	2,13E+10	1,37E+06	1 2 11 12 14 15 17	93,68
0,3	0,7	0,415	2,13E+10	1,37E+06	1 2 11 12 14 15 17	75,14
0,2	0,8	0,288	2,40E+10	1,47E+05	1 2 3 5 7 11 12 14 15 17	59,17
0,1	0,9	0,145	2,54E+10	0,00E+00	1 2 3 5 7 11 12 14 15 16 17	48,15

Através da Tabela 20 obtém-se o seguinte gráfico da função objetivo.

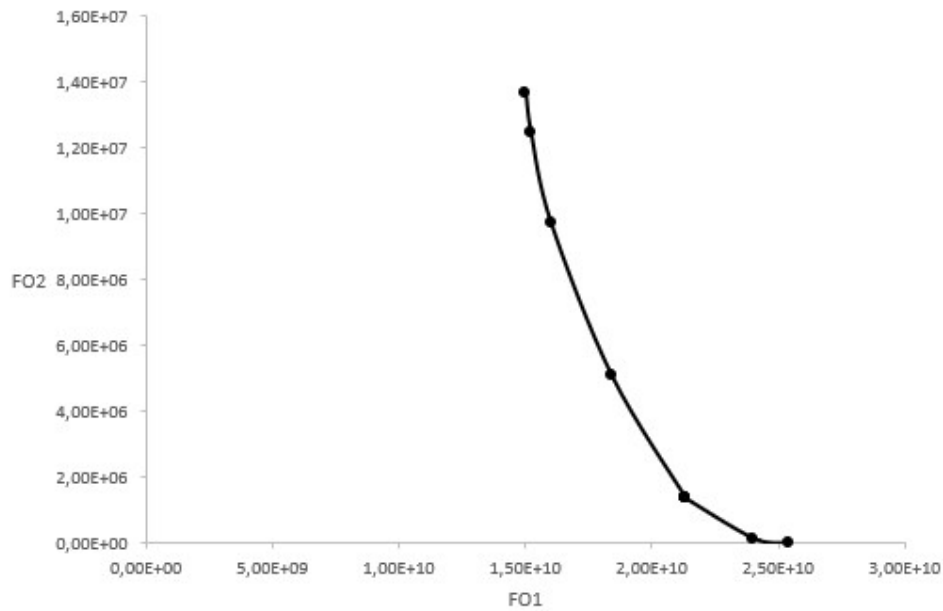


Figura 9 - Função objetivo do cenário

Através da Figura 9, conclui-se que à medida que se dá mais importância à componente social do motorista (β) a função objetivo associada a essa componente (FO2) tende a ter um valor mais baixo, influenciando diretamente o valor da FO, que irá diminuir também, sendo isso o principal objetivo.

Outas das análises que se realiza através da Tabela 20, é que à medida que a componente social do motorista exerce uma influência maior na função objetivo (FO), o número de nós *hubs* e os nós selecionados para esse efeito vão sendo alterados, concluindo-se que quanto mais se pretende reduzir o número de noites dormidas fora pelo motorista (FO2), o problema tem como resultado uma maior seleção de nós hub, como seria espectável, pois assim as transições de motoristas e de mercadorias são realizadas com mais frequência nos nós *hubs*, proporcionando percursos mais curtos aos motoristas, reduzindo assim o número de noites dormidas fora de casa.

Neste cenário e através da variável h_k , verifica-se quais são os nós *hubs* desta rede, que são as cidades de Porto, Lisboa, Vigo, La Coruña, Sevilla, Córdoba, Zaragoza, Linares, Mérida, Salamanca, Calatayud e Aranda de Duero como representado na Figura 10.



Figura 10 – Cidades hubs

4. CONCLUSÃO

Com este relatório, teve-se o propósito de otimizar e personalizar um modelo tipo de HLP, adequado às aplicações práticas no transporte de mercadorias. Uma das componentes importantes para esta análise foi o bem-estar dos motoristas, no que toca a dias passados fora de casa.

Com vista a garantir o menor custo global na construção desta rede e o menor número de dias passados fora de casa por parte dos motoristas, conclui-se que o modelo é uma boa aproximação da aplicação no mundo real, como mostrado na subseção de análise de resultados, nomeadamente nas cidades selecionadas para os nós *hubs* e também à medida que se dá mais importância à cariz social dos motoristas a função objetivo tende a ser cada vez menor.

O modelo é bastante flexível perante a análise de diferentes dados, de tal forma que pode ser utilizado no transporte rodoviário, bem como em exclusivo nas aplicações marítimas. O modelo da forma como foi adaptado, e numa perspetiva futura, pode ser aplicado nos transportes públicos, de modo a escalonar o número de veículos utilizados e os seus destinos e origens. Os dados analisados neste relatório foram os mais realista possíveis, pois como se trata de dados de fluxos de mercadorias, estes são sempre valores aproximados.

5. REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS

Campbell, J. F., & O'Kelly, M. E. (2012). *Twenty-Five Years of Hub Location Research*. *Transportation Science* (Vol. 46). <https://doi.org/10.1287/trsc.1120.0410>

Como uma arquitetura de Hub e Spoke pode ajudar a gerenciar dados - polarização. (2018). Retrieved October 29, 2018, from <https://www.polarising.com/hub-spoke-architecture-can-help-manage-data/>

Consulting, D., & Management, P. (2013). *D rilling*. KTH.

DataComex. (2017). Informe ejecutado. Retrieved October 22, 2018, from <http://datacomex.comercio.es/CabeceraPersonalizada.aspx?action=drilldown&eje=Filas&valor=Total> Nacional&unvalor=%5BProvincial%5D.%5BTtotal

Nacional%5D&nivel=0&otroValor=total&otroNivel=0&id=1

Diário Imobiliário. (2015). Área Metropolitana de Lisboa entre as 25 maiores da Europa / Sustentabilidade / Actualidade / Home - Diário Imobiliário. Retrieved October 20, 2018, from <http://www.diarioimobiliario.pt/Actualidade/Sustentabilidade/Area-Metropolitana-de-Lisboa-entre-as-25-maiores-da-Europa>

Filipe Madeira. (2009). *MANUAL DE TACOGRAFOS Tempos de condução , pausas e repouso*.

Filipe Madeira. (2018). *Preços indicativos p/ clientes 2018* (Vol. 2).

Gelareh, S. (2008). *Hub location models in public transport planning*. University of Kaiseralautern, Kaiseralautern. Retrieved from http://deposit.ddb.de/cgi-bin/dokserv?idn=989095762&dok_var=d1&dok_ext=pdf&filename=989095762.pdf

Gelareh, S., & Nickel, S. (2011). *Hub location problems in transportation networks. Transportation Research Part E* (Vol. 47). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2011.04.009>

Gilmore, D. (2013). Supply Chain Future – A Physical Internet? Retrieved October 17, 2018, from <http://www.scdigest.com/assets/FIRSTTHOUGHTS/13-06-06A.php?cid=7116>

Hakimi, D., Montreuil, B., Sarraj, R., Ballot, E., & Pan, S. (2012). *Simulating a physical internet enabled mobility web: the case of mass distribution in France*. 9th International Conference on Modeling, Optimization & SIMulation-MOSIM'12.

IMT. (2015). *Carga E De Navios Portos Do Continente*. Instituto da Mobilidade e dos Transportes.

Ine, O., & Na Internet, I. P. (2017). *Periodicidade | Anual www.ine.pt* (2017th ed.). INE.

João Leitão. (2018). Mapas de Espanha | Roteiros e Dicas de Viagem. Retrieved October 29, 2018, from <http://www.joaoleitao.com/viagens/2008/03/12/mapas-espanha/>

Leite, I. (2016). A posição de Portugal. Retrieved October 20, 2018, from <https://pt.slideshare.net/seculoXXI/a-posio-de-portugal>

- LKW WALTER. (2017). Equipamento numa carga transportada por camião - LKW WALTER. Retrieved October 23, 2018, from <http://www.lkw-walter.pt/pt/cliente/transporte-por-camiao/equipamento>
- Margarida Cardoso. (2017). Expresso | No transporte de mercadorias, a estrada é quem mais ordena. Retrieved October 20, 2018, from <https://expresso.sapo.pt/economia/2017-05-26-No-transporte-de-mercadorias-a-estrada-e-quem-mais-ordena#gs.bAVdTAA>
- Markillie, B. P., & Markillie, B. P. (2007). The physical internet. Retrieved October 17, 2018, from <https://www.economist.com/special-report/2006/06/15/the-physical-internet>
- Mausser, H. (2006). *Normalization and Other Topics in Multi-Objective Optimization.pdf. Proceedings of the fields-MITACS Industrial Problems Workshop (Vol. 2)*. Retrieved from <http://www.maths-in-industry.org/miis/233/1/fmipw1-6.pdf>
- Montreuil, B. (2011). *Toward a Physical Internet: meeting the global logistics sustainability grand challenge. Logistics Research (Vol. 3)*. <https://doi.org/10.1007/s12159-011-0045-x>
- Montreuil, B., Meller, R. D., & Ballot, E. (2010). *Towards a Physical Internet : the impact on logistics facilities and material handling systems design and innovation. Progress in Material Handling Research*. <https://doi.org/10.1016/j.jaapos.2004.08.011>
- Montreuil, B., Rougès, J.-F., Cimon, Y., & Poulin, D. (2012). *The Physical Internet and Business Model Innovation. The Technology Innovation Management Review (Vol. 2)*. Talent First Network. Retrieved from <https://timreview.ca/article/566>
- Move Ideias. (2017). Lead time em logística: tire aqui todas as suas dúvidas! - Moveideias. Retrieved October 29, 2018, from <http://moveideias.com.br/lead-time-em-logistica-tire-aqui-todas-as-suas-duvidas/>
- Moyzis, R.K., Buckingham, J.M., Cram, L.S., Dani, M., Deaven, L.L., Jones, M.D., Meyne, J., Ratliff, R.L., and Wu, J. . (1988). Weblet Importer. Retrieved October 20, 2018, from <http://arxiu.portdebarcelona.cat/flashdss2/ESP/index.html>

- Nickel, S. (2017). *Chapter 6 HUB LOCATION PROBLEMS IN URBAN TRAFFIC NETWORKS* (Vol. 1).
- Petrus, K. (2016). Falámos com camionistas de longo curso sobre a vida na estrada - VICE. Retrieved October 17, 2018, from <https://www.vice.com/pt/article/bmxmym/falamos-com-camionistas-de-longo-curso-sobre-a-vida-na-estrada>
- Portogente. (2016). Logística de Transportes - Portogente. Retrieved October 17, 2018, from <https://portogente.com.br/portopedia/73441-logistica-de-transportes>
- Puerto de Bilbao. (2015). *4 Estadísticas de tráfico*. Estadísticas de Tráfego.
- Reyna, B. A., Brown, L. F., Pickler, R. H., Myers, B. J., & Younger, J. B. (2012). *Mother-infant synchrony during infant feeding; 22982266*. *Infant Behavior and Development* (Vol. 35). <https://doi.org/10.1016/j.infbeh.2012.06.003>
- Sevilla, P. de. (2015). *4 Estadísticas de tráfico*.
- Sohrabi, H., Klibi, W., & Montreuil, B. (2012). Modeling scenario based distribution network design in a Physical Internet enabled open Logistics Web. Retrieved from <https://drive.google.com/file/d/0BwqMeiFdDUgIUUnFPMnJJaUluR0E/view?usp=sharing>
- The Editors of Encyclopaedia Britannica. (1998). Location theory | economics and geography | Britannica.com. Retrieved October 29, 2018, from <https://www.britannica.com/topic/location-theory#ref137338>
- Treiblmaier, H., Mirkovski, K., & Lowry, P. B. (2016). *Conceptualizing the physical internet: literature review, implications and directions for future research*. *Proceedings of the 11th CSCMP Annual European Research Seminar*.
- Venturini, L. D. B., & Lopes, L. F. D. (2015). *O modelo Triple Bottom Line e a sustentabilidade na administração pública: pequenas práticas que fazem a diferença*. Repositório UFSM. Retrieved from http://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/11691/Venturini_Lauren_Dal_Bem.p

df?sequence=1

Vieira, C. L. dos S., & Luna, M. M. M. (2016). *Models and Methods for Logistics Hub Location: a Review Towards Transportation Networks Design*. *Pesquisa Operacional* (Vol. 36).
<https://doi.org/10.1590/0101-7438.2016.036.02.0375>

Vigo, P. de. (2015). *4 Estadísticas de tráfico*. Eestadísticas de Tráfico.

WALTER, L. (2017). Equipamento numa carga transportada por camião - LKW WALTER.
Retrieved October 23, 2018, from
<https://www.educargas.pt/pt/info/informacoes/contentores>