

Sincromodalidade como forma de melhorar a eficiência do transporte de mercadorias

Joana Félix Ribeiro da Cunha

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Civil

Orientadores:

Doutor Vasco Domingos Moreira Lopes Miranda dos Reis

Professora Doutora Maria do Rosário Maurício Ribeiro Macário

Júri

Presidente: Professor Doutor João Torres de Quinhones Levy

Orientador: Doutor Vasco Domingos Moreira Lopes Miranda dos Reis

Vogal: Professor Doutor Paulo Manuel Fonseca Teixeira

Outubro 2016

Ao meu pai

Agradecimentos

A elaboração desta dissertação não teria sido possível sem a participação, disponibilidade e inspiração de vários colegas, amigos e professores. Pretendo agradecer aos que mais directamente me apoiaram neste percurso.

Ao Doutor Vasco Reis, o meu orientador, agradeço os conhecimentos partilhados e a contribuição científica ao longo da elaboração deste estudo, bem como o apoio neste percurso e o investimento em mim e na minha formação.

Ao Duarte Cunha, um especial obrigada pela paciência com a qual me introduziu ao mundo da simulação, e pela disponibilidade e empenho com que me auxiliou quando nada parecia resultar.

Aos suspeitos do costume, os engenheiros e amigos André Morais, Andreia Filipe, Catarina Além, Raquel Rosa e Samuel Matias, agradeço o companheirismo ao longo destes anos, bem como o apoio nesta fase final. Ver-vos lutar pelos vossos sonhos foi uma constante fonte de inspiração.

À minha família, e em especial à minha mãe, agradeço o amor, a fé no sucesso das minhas escolhas e o auxílio e empenho durante toda a minha formação. Reconheço também a tolerância e compreensão que demonstraram durante este percurso.

Ao meu pai, Obrigada.

Resumo

No contexto do transporte de mercadorias, têm surgido nas últimas décadas várias soluções de transporte que propõem o uso de modos alternativos ao rodoviário durante a maior parte do movimento entre a origem e o destino, e recorrendo à rodovia apenas nas fases inicial e final do transporte. Denominadas de soluções multimodais, a mais recente é a sincromodal, que introduz a possibilidade de efectuar transbordos em tempo real. O objectivo da presente dissertação é a averiguação dos potenciais benefícios da sincromodalidade relativamente à intermodalidade, bem como as limitações destes.

A análise da literatura permitiu concluir que a sincromodalidade introduz a possibilidade de alteração de modos e de total partilha de informação, ambos em tempo real, assentando no pressuposto de que a melhoria da qualidade da comunicação aliada à flexibilidade modal permitirá uma tomada de decisão mais adequada às condições observadas no sistema.

Para cumprir o objectivo proposto, foi desenvolvido um modelo de simulação, aplicando os métodos de modelação por eventos discretos e por agentes, que pretende simular os processos executados pelos vários agentes durante o transporte da carga ao longo do Corredor Atlântico, bem como a tomada de decisão para diferentes tipos de operador logístico.

Confrontando estes operadores com condições de funcionamento do sistema, com diferentes graus de flexibilidade e exigência no transporte, foi possível concluir que a sincromodalidade apresenta alguma melhoria de desempenho em relação à intermodalidade, nomeadamente na entrega atempada das encomendas, mas que as suas vantagens só se evidenciam quando as condições do sistema revelam maior adversidade.

Palavras-Chave: Sincromodalidade; Modelação por Agentes; Modelação por Eventos Discretos; Tomada de Decisão; Simulação.

Abstract

In the last decades, several solutions have emerged in the context of freight transport, proposing the use of other transport modes in alternative to road transport during the main-haulage of the transport of the freight from its origin to its destination, and employing the road transportation only in the pre- and end-haulage. These are called multimodal solutions, the most recent concept being Synchronomodality, that allows real-time switching of modes. The purpose of this work is to investigate the potential benefits of Synchronomodality in relation to Intermodality in the improvement of the network's performance, as well as their limitations.

The literature review showed that Synchronomodality's main innovation is the introduction of the possibility of real-time switching as well as increased sharing of information, relying on the assumption that, by improving the quality of communication between agents and allowing modal flexibility, the planning process will be better able to adapt to new conditions in the network.

To fulfill this objective, a simulation model was developed, applying the methods of Discrete Events and Agent-Based Modeling, in order to simulate the operations executed by each agent in the freight transportation along the Atlantic Corridor, as well as the decision-making process of different logistic operators.

Confronting these operators with distinct conditions in the system, with varying degrees of flexibility and transport demand, it was concluded that Synchronomodality shows some performance improvement with respect to Intermodality, namely in the timely delivery of orders, but its advantages only show when the system operates under more adverse circumstances.

Keywords: Synchronomodality; Agent-based Modeling; Discrete Event Modeling; Decision-making; Simulation.

Índice

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento Geral	1
1.2	Objectivos	1
1.3	Metodologia	2
1.4	Estrutura da Dissertação	2
2	Revisão da Literatura	3
2.1	A cadeia de transporte	3
2.1.1	Elementos da rede	3
2.1.2	Configurações da rede	3
2.1.3	Agentes do sistema logístico	4
2.2	Conceitos de transporte	6
2.2.1	Multimodal	7
2.2.2	Intermodal	8
2.2.3	Co-modal	10
2.2.4	Combinado	11
2.2.5	Sincromodal	12
2.2.6	Conclusões	14
2.3	Sincromodalidade	16
2.3.1	Processo	16
2.3.2	Requisitos de aplicação	22
3	Metodologia e Aplicação ao Caso de Estudo	26
3.1	Modelos e Ferramentas Existentes	26
3.1.1	Modelação	26
3.1.2	Métodos de Simulação	27
3.1.3	Ferramentas de Modelação	31
3.2	Cadeia de Transporte – O Corredor Atlântico	32
3.3	Agentes, Parâmetros de caracterização e Variáveis associadas	34
3.4	Organização Conceptual da Cadeia de Transporte	38
3.4.1	Processo de transporte	38

3.5	Desenvolvimento do Modelo	43
3.5.1	Objectivo	43
3.5.2	Arquitectura do Modelo	44
3.5.3	Estrutura do Modelo	44
3.5.4	Avaliação do sistema Intermodal vs. Sincromodal	56
3.5.5	Verificação e Validação de Resultados	57
4	Modelação e Análise de Resultados	59
4.1	Cenários de Simulação	59
4.1.1	Cenários de Comportamento dos Operadores	59
4.1.2	Casos de Variação das condições do sistema.....	60
4.2	Discussão de Resultados	61
4.2.1	Resultados globais da simulação	61
4.2.2	Grau de cumprimento das previsões e prazos.....	65
4.2.3	Comparação de resultados para diferentes pares origem-destino	67
4.2.4	Experiências Adicionais.....	71
4.3	Conclusões	72
5	Conclusão	73
5.1	Conclusões finais	73
5.2	Desenvolvimentos Futuros	74
	Referências Bibliográficas	76
	Anexos.....	79
	A1 – Parâmetros de Caracterização dos Serviços de Transporte	79
	A2 – Elementos de Programação Java	81
	A3 – Resultados da Simulação.....	97

Índice de Figuras

Figura 1 – Etapas de desenvolvimento da dissertação	2
Figura 2 - Configurações alternativas para o transporte desde a origem (O) até ao destino (D), numa rede com 10 nós [Adaptado de: (Johan Woxenius, 2007)]	4
Figura 3 - Agentes na cadeia de transporte [Fonte:(Posset et al., 2010)]	5
Figura 4 - Separação do processo de transporte sincromodal em subprocessos	18
Figura 5 - Subprocesso de Negociação e respectivas actividades.....	18
Figura 6 - Subprocesso de Transporte e respectivas actividades	19
Figura 7- Fluxo físico no processo de transporte sincromodal	20
Figura 8 - Fluxo de responsabilidades do processo de transporte sincromodal [Adaptado de: (Reis, 2010)].....	21
Figura 9 – Paradigmas da modelação por simulação à escala do nível de abstracção [Fonte: (Grigoryev, 2015)].....	27
Figura 10 - Modelação por Eventos Discretos [Fonte: (Anylogic, 2016)].....	28
Figura 11 - Modelação por Agentes [Fonte: (Anylogic, 2016)].....	30
Figura 12 – Esquematização da cadeia de transporte simplificada, baseada no Corredor Atlântico...	32
Figura 13 – Esquematização dos fluxos físico e de informação durante o processo de transporte.....	39
Figura 14 – Operações de Geração e Eliminação da Encomenda.....	40
Figura 15 – Lógica de Decisão do Operador Intermodal	40
Figura 16 – Lógica de Decisão do Operador Sincromodal	41
Figura 17 – Ciclo de alteração entre estados do Terminal	41
Figura 18 – Lógica de Decisão de encaminhamento das encomendas no Terminal	41
Figura 19 – Operações de transporte da carga desempenhadas pelo modo Rodoviário	42
Figura 20 – Operações de transporte da carga desempenhadas pelo modo Ferroviário	42
Figura 21 – Operações de transporte da carga desempenhadas pelo modo Marítimo	42
Figura 22 - Arquitectura do modelo.....	44
Figura 23 – Cadeia de Transporte modelada.....	45
Figura 24 – Fluxo de processos do agente Encomenda (Order)	46
Figura 25 – Fluxo de processos do agente Transporte Rodoviário (Truck).....	48
Figura 26 – Fluxo de processos do agente Transporte Marítimo (Ship).....	48
Figura 27 – Fluxo de processos do agente Transporte Ferroviário (Train)	48
Figura 28 – Fluxo de processos do agente Terminal.....	50
Figura 29 – Diagrama de Estados do agente Terminal	51
Figura 30 – Diagrama de Estados do agente Operador (Operator)	52
Figura 31 – Número de encomendas entregues.....	61
Figura 32 – Percentagem de encomendas entregues	61
Figura 33 – Número de replaneamentos efectuados	62
Figura 34 – Número de revisões efectuadas	62
Figura 35 – Número de alterações efectuadas	62
Figura 36 – Percentagem de encomendas alteradas	62

Figura 37 – Preço total real	63
Figura 38 – Variação relativa ao preço total previsto	63
Figura 39 - Variação dos preços por encomenda	63
Figura 40 – Variação percentual dos preços por encomenda	63
Figura 41 – Número de entregas que cumpre a previsão.....	64
Figura 42 – Percentagem de entregas que cumpre a previsão	64
Figura 43 – Número de entregas que cumpre o prazo	64
Figura 44 – Percentagem de entregas que cumpre o prazo.....	64
Figura 45 – Diferença horária entre o tempo de transporte e a previsão de tempo de transporte	65
Figura 46 – Variação percentual em relação à previsão de tempo de transporte	65
Figura 47 – Diferença horária entre a data de entrega e o prazo	66
Figura 48 – Variação percentual em relação à janela de transporte	66
Figura 49 - Desvio absoluto em relação ao prazo	67
Figura 50 - Desvio percentual em relação à janela de transporte	67
Figura 51 - Relação entre o tempo real de transporte e a previsão – Cenário Intermodal.....	68
Figura 52 - Relação entre o tempo de transporte e a previsão - Cenário Sincromodal 1	68
Figura 53 - Relação entre o tempo de transporte e a previsão - Cenário Sincromodal 2	68
Figura 54 - Relação entre o tempo de transporte e a janela de transporte - Cenário Intermodal	70
Figura 55 - Relação entre o tempo de transporte e a janela de transporte - Cenário Sincromodal 1 ..	70
Figura 56 - Relação entre o tempo de transporte e a janela de transporte - Cenário Sincromodal 2 ..	70

Índice de Quadros

Quadro 1 - Lista de terminais e portos na cadeia de transporte	33
Quadro 2 - Lista de ligações servidas por cada modo de transporte	33
Quadro 3 - Atributos da Encomenda.....	34
Quadro 4 - Atributos do Operador Logístico	35
Quadro 5 - Atributos do Terminal	36
Quadro 6 - Atributos do Transporte Rodoviário	37
Quadro 7 - Atributos do Transporte Ferroviário	37
Quadro 8 - Atributos do Transporte Marítimo.....	38
Quadro 9 - Parâmetros do agente Encomenda (Order).....	47
Quadro 10 - Parâmetros dos agentes de transporte.....	48
Quadro 11 - Horários de funcionamento dos vários terminais da cadeia de transporte.....	51
Quadro 12 – Indicadores de Preço	56
Quadro 13 - Indicadores de Tempo	57
Quadro 14 - Parâmetros de modelação para os casos testados.....	60

1 Introdução

1.1 Enquadramento Geral

O transporte de mercadorias é um elemento fulcral no movimento eficiente e atempado de matérias-primas e produtos através do espaço, permitindo a ligação entre produtores e consumidores. Com a globalização, deu-se um aumento nas transferências de bens e serviços entre produtores e consumidores cada vez mais distantes entre si, o que levou a uma necessidade de adoptar outros modos de transporte que não o rodoviário, mais correntemente utilizado.

Na procura por soluções logísticas eficientes que mantivessem um nível de custos aceitável, foram desenvolvidas as soluções multimodais, que consistem na utilização de vários modos ao longo da cadeia de transporte, combinando-os por forma a permitir aproveitar as potencialidades inerentes a cada modo, em termos de capacidade, consumo energético, ou impactos ambientais associados, conseguindo criar-se cadeias de transporte geralmente mais eficientes, de custos reduzidos e sustentáveis. No entanto, o transporte multimodal implica o planeamento da cadeia de transporte com antecedência, reduzindo a capacidade de adaptação do transporte às novas condições de mercado ou da rede, tornando-se também menos competitivo a curtas distâncias, nas quais o transporte unimodal rodoviário permite uma maior flexibilidade e rapidez no transporte.

Surge então o conceito de transporte sincromodal, que se constitui como uma cadeia de transporte que recorre a vários modos, mas, ao contrário do que ocorre em outras soluções multimodais, a cada etapa do transporte é possível seleccionar o seguinte modo a utilizar, permitindo otimizar a cadeia de acordo com os factores que possam afectar o transporte, conseguindo-se soluções flexíveis e adaptadas a cada caso, melhorando a eficiência e reduzindo os custos, quando comparado com soluções anteriores. Dado que este se trata de um conceito recente, ainda se encontra numa fase de amadurecimento, tendo apenas sido encontradas 13 fontes literárias que o mencionam, 3 das quais dissertações; em adição, são escassos os exemplos de aplicação prática desta solução na Europa, estando estes concentrados na região dos Países Baixos. Nestas circunstâncias, não só o potencial dos sistemas sincromodais não foi inteiramente explorado, como alguns aspectos desta solução permanecem ainda por determinar, nomeadamente um consenso acerca da sua definição. Assim, é necessário estudar as características do transporte sincromodal, bem como os requisitos a cumprir para se tornar possível a partilha da informação actualizada em cada etapa do transporte e identificar as suas potencialidades como forma de melhorar a eficiência do transporte intermodal, tornando-o mais competitivo, sustentável e economicamente viável.

1.2 Objectivos

O presente trabalho foi desenvolvido com o objectivo de identificar as inovações introduzidas pelo conceito de transporte sincromodal face às soluções de transporte anteriores e, tendo em conta a sua aplicabilidade prática, aferir quais os benefícios que esta solução poderá trazer no desempenho de uma cadeia de transporte de mercadorias.

Para concretizar este objectivo, será desenvolvido um modelo no qual se irá simular o funcionamento das soluções de transporte sincromodal e intermodal numa mesma cadeia de transporte e sob

diferentes condições do sistema. A confrontação dos resultados obtidos em cada conceito de transporte permitirá aferir a existência, ou não, de melhorias de desempenho quando implementada a solução de transporte sincromodal, bem como a extensão destas.

1.3 Metodologia

A elaboração da presente dissertação desenvolveu-se em 4 etapas, tal como apresentado na Figura 1.

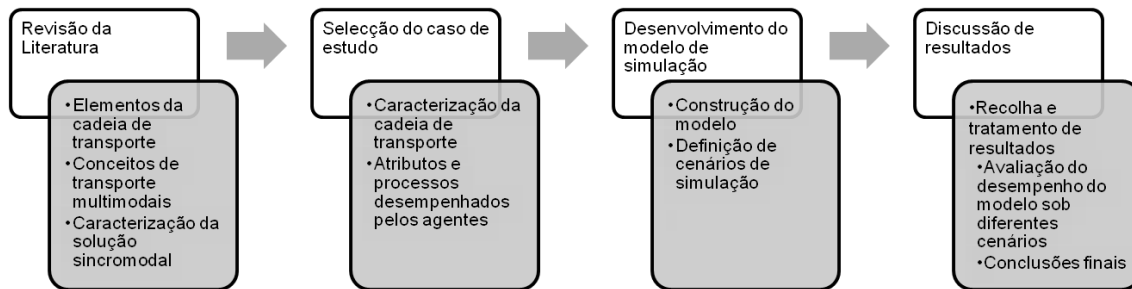


Figura 1 – Etapas de desenvolvimento da dissertação

1.4 Estrutura da Dissertação

A dissertação encontra-se dividida em 6 capítulos, descritos em seguida.

No presente capítulo, o **Capítulo 1**, é feito o enquadramento geral do tema estudado, após o qual se definem os objectivos que se pretendem alcançar, e são apresentadas a metodologia de elaboração da dissertação e a estrutura da mesma.

No **Capítulo 2** é feita a revisão da literatura referente ao transporte de mercadorias, fazendo-se uma primeira descrição dos elementos físicos e agentes que constituem uma cadeia de transporte, seguida da definição de um conjunto de conceitos de transporte multimodais que se têm desenvolvido como resposta ao surgimento de novas preocupações neste sector, e finalmente culminando numa descrição mais aprofundada da natureza dos processos desempenhados pelos agentes do sistema sincromodal, bem como das suas interacções, e num levantamento dos requisitos a cumprir para possibilitar a implementação desta solução.

No **Capítulo 3** é feita uma breve revisão da literatura referente aos métodos existentes no âmbito dos modelos de simulação e descrito o caso de estudo sobre o qual será simulado o funcionamento de uma rede de transporte sincromodal, fazendo-se a caracterização dos elementos físicos da mesma; após a definição dos atributos de cada agente da cadeia, bem como de uma descrição conceptual dos processos que cada um destes executa e do impacto que as interacções entre estes tem nas operações realizadas, será feita a sua transposição para o *software* de modelação, procedendo-se ainda à definição de um conjunto de indicadores considerados relevantes na comparação entre os conceitos de transporte sincromodal e intermodal.

No **Capítulo 4** é feita uma selecção de diversos cenários de simulação, que pretendem ilustrar o comportamento dos sistemas sob diferentes condições de funcionamento, sendo então analisados os resultados da simulação.

Finalmente, no **Capítulo 5** são apresentadas as conclusões finais da elaboração da presente tese, bem como discutidos possíveis desenvolvimentos futuros.

2 Revisão da Literatura

2.1 A cadeia de transporte

O transporte de mercadorias constitui um importante sector nas sociedades actuais, permitindo a ligação de mercados e fazendo chegar ao consumidor final bens das mais variadas origens. Neste panorama, as cadeias de transporte estabelecem-se como o elo de ligação entre a oferta e a procura, compreendendo o transporte das matérias-primas até ao produtor e, posteriormente, do produto finalizado até ao consumidor.

Com o crescimento dos mercados e a globalização, estas cadeias foram-se tornando mais complexas, envolvendo cada vez mais recursos na execução deste transporte. A logística assume, então, um importante papel na gestão das cadeias de transporte, procurando garantir um fluxo contínuo dos produtos até ao consumidor final (Sadler, 2007). Para tal, é responsável pela administração dos recursos existentes, pelo planeamento da movimentação dos bens até ao destino final, monitorizando o processo através de trocas de informação com os operadores que a executam, e gerindo os pagamentos e aspectos legais transporte.

Desta forma, o transporte, não só constitui um elemento fulcral da produção, como é, em si, uma indústria (Brewer, Button, & Hensher, 1982), na qual o serviço oferecido é a movimentação de uma determinada carga desde a origem até ao destino, e envolvendo a sua produção o consumo, e a gestão, de recursos. Assim, a cadeia de transporte poderá formular-se como um *sistema de fluxos de carga, definido por um conjunto de elementos logísticos conectados entre si através de processos de transformação* (Pleszko, 2012, p. 2).

2.1.1 ELEMENTOS DA REDE

A cadeia de transporte é geralmente descrita como uma rede de nós e arcos, onde os nós representam localizações no espaço, como por exemplo os terminais, e os arcos as distâncias a percorrer entre cada par de nós conectados.

As rotas, ou itinerários, a percorrer nas ligações da rede são definidas pela infraestrutura de transporte existente, bem como pelos serviços disponibilizados. Estas ligações podem ser referidas como “corredores” em situações nas quais uma mesma ligação entre dois pontos pode ser estabelecida com recurso vários modos de transporte, que operam em paralelo.

Os terminais logísticos, onde se inserem os *hubs*, são um constituinte da rede onde é possibilitado o armazenamento da carga, enquanto se aguarda pelo processamento da próxima fase do transporte, ou da entrega ao cliente final, e onde poderá ocorrer uma alteração de modo se se tratarem de terminais multimodais, isto é, terminais com acesso a infraestruturas e serviços de várias modalidades. É nesta infraestrutura que os operadores das diferentes modalidades oferecem capacidade de transporte nas ligações entre terminais e é feita a alocação das cargas aos diferentes modos disponíveis, consoante as capacidades existentes (Nabais, Negenborn, Ben, & Botto, 2013).

2.1.2 CONFIGURAÇÕES DA REDE

Esta rede poderá adoptar diferentes formatos, para um mesmo par origem-destino, consoante a localização dos diferentes nós, a existência de mercados e sua relação com a cadeia de transporte

principal na área de influência destes, bem como os serviços de transporte disponibilizados e a interacção destes entre si e com os terminais. Johan Woxenius (2007) apresenta um conjunto de possíveis configurações, consoante o tipo de ligação que se pretende efectuar (Figura 2).

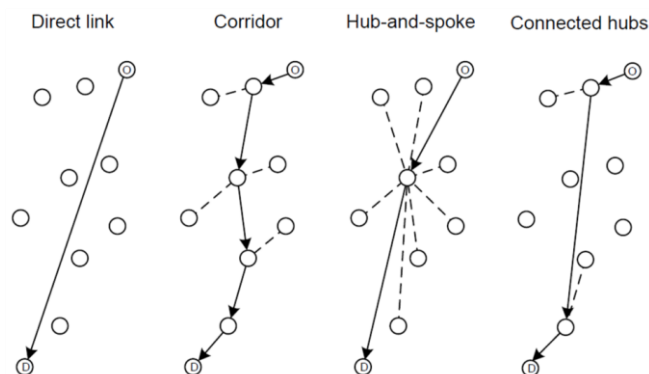


Figura 2 - Configurações alternativas para o transporte desde a origem (O) até ao destino (D), numa rede com 10 nós [Adaptado de: (Johan Woxenius, 2007)]

Ligação directa Faz um transporte directo desde a origem até ao destino. Tipicamente efectuada por camião, esta ligação permite praticar tempos de transporte reduzidos e custos relativamente baixos.

Corredor O transporte é feito percorrendo um trajecto pré-definido que serve diversas ligações origem-destino numa dada região, permitindo tirar partido das vantagens da agregação dos vários fluxos que se movem numa mesma direcção ao longo da rede. A necessidade de efectuar paragens intermédias, nos terminais para onde convergem os fluxos, para alteração de veículo, ou mesmo de modo, e para inclusão das novas cargas a transportar resulta num aumento dos custos, associados às operações adicionais, e do tempo total do transporte.

Hub-and-spoke Numa primeira fase, a carga é transportada directamente para um *hub* que serve a região, e só então se faz o transporte para o destino final. A operação dentro do *hub* é complexa, uma vez que têm de ser geridos os fluxos de entrada e de saída neste terminal para cada ligação estabelecida. A possibilidade de aumento do volume de carga, através da agregação de todos os fluxos que têm o mesmo destino, permite tomar partido das capacidades de carga dos veículos a empregar, reduzindo os custos de trânsito. No entanto a necessidade de efectuar a paragem intermédia para proceder às operações de transbordo resulta, não só num aumento dos custos associados a estas actividades adicionais, como também num maior tempo de transporte e no risco de danificação da carga.

Hubs Conectados O transporte efectua-se de forma idêntica ao do *hub-and-spoke*, no entanto a rede contempla múltiplos *hubs* ligados entre si. Geralmente, o transporte entre os *hubs* é efectuado com recurso a modos com elevada capacidade, para tomar partido da agregação de fluxos, e operam em horários fixos.

2.1.3 AGENTES DO SISTEMA LOGÍSTICO

Numa cadeia de transporte, actuam um conjunto de agentes, cada um desempenhando um papel específico numa das várias dimensões do processo de transporte. Posset, Gronalt e Häuslmayer (2010) apresentam os vários agentes que possibilitam o funcionamento do sistema logístico (Figura 3).

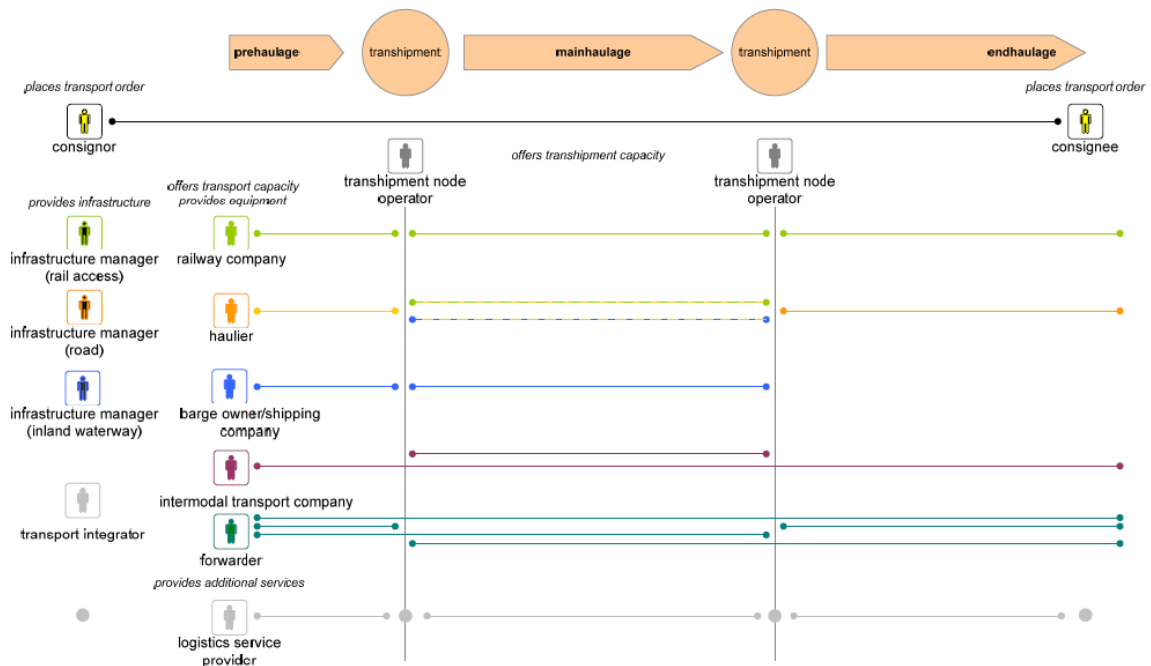


Figura 3 - Agentes na cadeia de transporte [Fonte:(Posset et al., 2010)]

Expedidor É o agente que gera a carga a transportar, sendo tipicamente o dono dos bens, e é quem normalmente celebra o contrato com o integrador de transporte. Pode ser um indivíduo ou uma organização que dá a instrução e figura no documento de transporte com o qual a transportadora recebe a ordem de transporte dos bens do local de origem para o destino.

Transitário Por vezes referido como integrador de transporte, é a pessoa, ou empresa, que age em defesa dos interesses do expedidor e é por este contratada para fazer o transporte da encomenda deste o local de origem até ao destino final, respeitando requisitos de qualidade específicos. É quem faz a organização do transporte, incluindo a reserva de capacidade de transporte, e a ligação dos serviços e/ou processos burocráticos associados em vez do expedidor.

Na sua função de intermediário, recebe diversas encomendas e unidades de transporte intermodais de vários expedidores, frequentemente realizando operações de consolidação; estas consistem na agregação das diferentes cargas com o mesmo destino (ou parte do itinerário em comum) em remessas, sendo o transporte organizado até um destino específico, onde o agente seguinte faz a entrega ao cliente. Por vezes, este serviço pode ser efectuado por companhias de transporte rodoviário ou companhias intermodais *door-to-door*.

Operador logístico É aos operadores logísticos que o expedidor solicita a execução de diferentes actividades ou serviços logísticos, delegando-lhe a gestão do transporte do início ao fim do processo. Embora este também possa desempenhar as funções do transitário, o seu papel é mais abrangente do que o simples planeamento da movimentação física da carga e da contratação de serviços de transporte, sendo também responsável pelo armazenamento e gestão de stocks, bem como pelos pagamentos aos diversos agentes envolvidos na cadeia de transporte.

Empresas Transportadoras São as responsáveis por concretizar o transporte da carga, podendo fazer o transporte desde a origem ao destino, ou apenas de uma porção deste trajecto: nas redes intermodais, o operador do transporte rodoviário é, geralmente, o responsável pelo transporte inicial,

desde o expedidor até ao terminal, e final, do terminal até ao cliente; o operador do transporte ferroviário, público ou privado, providencia o serviço de transporte por ferrovia e é dono do equipamento de transporte, pagando ao gestor da infraestrutura ferroviária pelo acesso a esta; o dono, ou operador, do transporte fluvial é um indivíduo independente que possui e opera este modo de transporte e gere ele próprio o transporte das unidades de transporte intermodal; as companhias de transporte marítimo são empresas maiores, que operam diversos navios e gerem o transporte dos volumes de carga, tendo frequentemente contratos a longo-prazo com intermediários e expedidores. Por vezes, existem empresas de transporte que possuem recursos em múltiplos modos de transporte, sendo então denominadas de operadores intermodais.

Gestores das infraestruturas São responsáveis pela criação e manutenção das infraestruturas rodoviária, ferroviária, ou portuária, bem como pela operação dos sistemas de controlo e segurança implementados. Têm o dever de desenvolver uma rede adequada às necessidades e de zelar para que os pagamentos pelo uso da infraestrutura cumpram o princípio da não-discriminação entre utentes.

Operador do terminal É quem possibilita as operações de transbordo nos terminais e providencia infraestruturas de armazenamento intermediárias para operadores intermodais e agentes de transporte marítimo. Consoante a infraestrutura e os diversos modos de transporte a esta ligados, os operadores do terminal têm de lidar com vários agentes.

Os operadores do terminal são responsáveis pelo transbordo célere e eficiente da carga de um modo de transporte para o seguinte, sendo que por vezes providenciam serviços de recolha de contentores vazios e diversos serviços de “valor acrescentado” para operadores intermodais e intermediários.

Alfândega Os agentes alfandegários actuam dentro dos terminais, sendo responsáveis por conduzir operações de vistoria às cargas a transportar, principalmente em encomendas internacionais, e de assegurar a conformidade com a legislação do país.

Despachante É a entidade que lida com o agente alfandegário, em prole do transitário ou operador logístico contratado pelo expedidor, nos terminais em que as operações de inspecção e verificação são conduzidas.

Cliente É a pessoa, ou organização, para quem os bens são transportados e tem autoridade para os receber no final do transporte, sendo o indivíduo presente no documento de transporte a quem a carga deve ser entregue.

2.2 Conceitos de transporte

O transporte rodoviário é o modo de transporte mais comumente utilizado para efectuar o transporte de mercadorias, devido à sua flexibilidade e ao facto de permitir criar itinerários com ligações o mais directas possível desde a origem até ao destino, *direct-routing*, que resultam num menor tempo de entrega. No entanto, esta modalidade comporta elevados custos ambientais e sociais, traduzidos no uso excessivo das redes rodoviárias existentes, provocando o congestionamento e a degradação acelerada das infraestruturas, bem como no aumento do número de acidentes e na poluição dos sistemas ecológicos adjacentes a estas infraestruturas (Arnold, Peeters, & Thomas, 2004).

Como tal, têm surgido nas últimas décadas diversos conceitos de transporte alternativos, que procuram uma utilização eficiente dos diversos recursos disponíveis, procurando o aproveitamento das potencialidades de cada modo, de forma a melhorar o desempenho das cadeias de transporte, em termos de custos e de nível de serviço, e até de sustentabilidade.

Na presente secção serão apresentadas e discutidas as principais filosofias que se têm destacado no contexto das redes de transporte de mercadorias.

2.2.1 MULTIMODAL

2.2.1.1 CONCEITO

Numa primeira instância, surge o conceito de transporte multimodal, que consiste no *transporte de bens por 2 ou mais modos, como parte de um contrato onde geralmente é um operador de transporte multimodal o responsável pelo desempenho de todo o contrato de transporte desde a origem ao destino* (Harris, Wang, & Wang, 2014, p. 2) e tem como objectivo principal a criação de um movimento contínuo de bens ao longo de toda a cadeia, de modo a tornar o transporte mais eficiente numa perspectiva financeira, ambiental e temporal.

2.2.1.2 REDE

A cadeia de transporte multimodal trata-se de uma rede de *hubs* conectados, sendo que os transportes inicial e final, de recolha e entrega da encomenda, respectivamente, são usualmente feitos por camião.

Todo o processo poderá estar sujeito a um contrato de transporte através do qual o expedidor delega a um operador multimodal a responsabilidade por fazer chegar a encomenda ao destino, subcontratando outros serviços nas etapas do trajecto em que não possui recursos para ela própria efectuar o transporte. Implica isto que as empresas subcontratadas têm de responder às necessidades de transporte ao longo de toda a rede, perdendo-se alguma autonomia nos modos de transporte individuais (Pleszko, 2012).

2.2.1.3 POTENCIAIS BENEFÍCIOS

Com esta configuração da cadeia de transporte, é possível tomar partido das qualidades inerentes a cada modo de transporte e encontrar a solução que melhor se adapta às necessidades para cada encomenda, em termos de volume e tipo de carga, e tempo de transporte. Pleszko (2012) acrescenta que, ao tomar partido da localização dos mercados, dos recursos e das infraestruturas disponíveis, é também garantida a salvaguarda da viabilidade e sustentabilidade da solução, baseando a escolha em aspectos como o custo, a segurança e prontidão das entregas e os impactos ambientais previsíveis.

2.2.1.4 DESAFIOS

O transporte multimodal enfrenta, no entanto, diversos obstáculos que dificultam a sua implementação e dissuadem da sua utilização como solução de transporte logístico. Um primeiro aspecto tem a ver com as diferentes características de cada modo de transporte, que impõem diferentes requisitos aos bens a transportar, tais como o embalamento e as condições de transporte e de armazenamento. Harris (2014) argumenta que o planeamento e gestão de uma rede de transporte

multimodal são complexos devido à variedade de operadores envolvidos e à necessidade de estabelecer uma partilha de informação efectiva e eficiente, que garanta uma comunicação precisa e a tempo para obter um serviço fiável, que actualmente é dificultada pelo facto de cada agente empregar tecnologias próprias, que são de difícil conciliação.

Segundo Pleszko (2012), as soluções multimodais são, de um modo geral, consideradas como pouco competitivas, em relação ao transporte rodoviário, sendo perspectivadas como menos flexíveis, em termos técnicos, de custos mais elevados, lentas e pouco fiáveis na entrega, sendo que a entrega dentro dos prazos estipulados é dificultada pela existência de diversos operadores e ao acréscimo de actividades, relativamente ao *direct routing*, susceptíveis de gerar atrasos.

2.2.2 INTERMODAL

2.2.2.1 CONCEITO

O sistema de transporte intermodal estabelece-se como um serviço de transporte “*door-to-door*” envolvendo a combinação de modos de transporte, que assegura um movimento contínuo e eficiente da carga (Verma, Verter, & Zufferey, 2012, p. 1), estando definido como: *movimentação dos bens numa mesma unidade de carga ou veículo, por sucessivos modos de transporte sem o manuseamento destes aquando da alteração de modo* (Arnold et al., 2004; Behdani, Fan, Wiegmans, & Zuidwijk, 2014; Caris, Limbourg, Macharis, Lier, & Cools, 2014; Li, Negenborn, & De Schutter, 2013; Riessen, Negenborn, Dekker, & Lodewijks, 2013a, 2013b; Yang, Low, Ching, & Asia, 2011); *combinação de pelo menos dois modos de transporte numa única cadeia de transporte, sem alteração da unidade de carga, com a maior parte do trajecto feita por caminhos-de-ferro, rio ou mar, e com os transportes inicial e final feitos por camião e durante a menor distância possível* (Caris, Macharis, & Janssens, 2013; Macharis & Pekin, 2009); *transporte de mercadorias envolvendo múltiplos modos e unidades de transporte multi-tipo, oferecendo uma solução económica para entregas de carga de longo curso internacionais/transcontinentais* (Meng & Wang, 2011, p. 1).

Apesar de não haver uma definição única para o conceito de intermodalidade, existe o consenso de que se trata de uma solução logística multimodal, com a particularidade de a carga estar contida dentro de unidades de carga compatíveis com as diversas modalidades a empregar, de modo a impedir o manuseamento e subsequente risco de danificação dos bens durante as operações de transbordo. Estas unidades de carga, também referidas como contentores multi-tipo, servem variados objectivos, específicos a cada encomenda, assumindo diferentes funções e tamanhos, podendo tratar-se de simples envelopes, caixas, contentores, ou até unidades refrigeradas, e requerendo diferentes operações de manuseamento, de custo e tempo variável.

Os diversos modos de transporte estão integrados numa mesma cadeia de transporte, por forma a garantir um fluxo contínuo da carga e um uso otimizado da infraestrutura física existente, sendo que, argumentam Li (2013) e Meisel, Kirschstein e Bierwirth (2013), na maior parte do trajecto se procura a minimização do recurso ao transporte rodoviário, preocupação encorajada pelo congestionamento das redes rodoviárias e resultantes aumento do tempo de viagem e atrasos na entrega; pretendendo-se oferecer um serviço de transporte eficiente, em termos de custo e energia, fiável, rápido e ambientalmente sustentável.

2.2.2.2 REDE

A cadeia de transporte intermodal é formulada como uma rede de *hub-and-spoke*, ou de *hubs* conectados: de modo a aumentar o seu papel no mercado de transporte, a rede intermodal deve servir o maior número de fluxos de transporte possível, incluindo os fluxos de menores volumes a transportar e a curtas distâncias. Para que isto seja exequível, bem como atractivo, Trip e Bontekoning (2002) argumentam que será necessário garantir uma frequência elevada e uma expansão da área abrangida pela rede, aumentando o número de destinos servidos. Convém, no entanto, mencionar que o dimensionamento e gestão da rede logística está limitado às infraestruturas existentes, à localização dos pontos de transferência modal e à estrutura dos custos logísticos.

Em adição, para a criação da rede *hub-and-spoke* é necessária a optimização das operações, principalmente as de transbordo nos terminais, uma vez que são o ponto-chave do qual depende a competitividade desta solução, face às anteriores. Assim, será necessário otimizar as linhas de alteração de modo dentro dos terminais, bem como recorrer ao equipamento mais adequado à execução da operação de trasbordo, de modo a que as actividades sejam executadas, não só de forma expedita e eficiente, mas também como o menor custo possível (Meng & Wang, 2011).

Uma outra particularidade das redes de transporte intermodais está no facto de esta integrar diferentes tipos de rede envolvidas no sistema de transporte de comodidades e de combinar diferentes modos, tendo como consequência o envolvimento de diversos agentes. De facto, este sistema poderá ser interpretado como *uma cadeia de actores que fornecem um único serviço de transporte* (Caris et al., 2014, p. 1), sendo que cada um destes tem interesses próprios, o que irá contribuir para a maior complexidade deste tipo de planeamento. Ao contrário do que ocorre para as cadeias de transporte multimodais, nas intermodais são celebrados contractos individuais com cada transportadora que irá processar o transporte da carga. Assim, o processo é coordenado por um operador logístico e cada companhia é responsável pelos procedimentos apenas durante a porção do trajecto que lhe corresponde, o que lhes confere alguma autonomia na rede de transporte.

2.2.2.3 POTENCIAIS BENEFÍCIOS

Partilhando os benefícios do transporte multimodal, Ishfaq e Sox (2010) argumentam que a integração dos diferentes modos na solução intermodal, não só produz resultados económica e operacionalmente viáveis, como é capaz de suportar os mais variados tipos de carga, em termos de peso e volume, e garante melhores níveis de acesso e desempenho em tempo de trânsito.

De acordo com Yang (2011), como os diferentes modos de transporte possuem diferentes graus de superioridade, em termos de custo de transporte, tempo e fiabilidade, representa uma opção desejável para transportadoras de bens de valor acrescentado que exigem um serviço fiável e atempado, para além de custos de transporte aceitáveis.

Ishfaq e Sox (2010) argumentam que a redução dos custos realizada com a concentração de fluxos nas ligações estabelecidas pela rede irá criar uma maior densidade dos mesmos e, consequentemente, surgirão economias de escala junto aos terminais intermodais. Estes, devido à ligação que estabelecem entre múltiplos modos, dão maior flexibilidade às empresas (SteadieSeifi, Dellaert, Nuijten, Van Woensel, & Raoufi, 2014), sendo considerados como instigadores de

desenvolvimento económico nas regiões por eles servidas. Assim, uma organização eficiente da rede de terminais intermodais irá potenciar uma expansão das áreas de mercado por eles servidas, permitindo aos agentes da rede aproveitar os benefícios das economias de escala geradas. Aliados ao maior alcance atingido pela maior quantidade de recursos disponíveis, onde o uso de unidades de carga compatíveis com vários modos se revela como uma grande vantagem, é possível obter uma solução de transporte custo-eficiente (Meng & Wang, 2011).

2.2.2.4 DESAFIOS

Um dos principais desafios à aplicação da solução intermodal deve-se à sua complexidade, resultante do recurso a múltiplos modos de transporte e ao envolvimento de múltiplos decisores, uma vez que implica a coordenação entre os diferentes operadores na cadeia de transporte. Assim, argumenta Caris (2013), a viabilidade desta solução está dependente das continuidade dos fluxos e da compatibilidade dos trânsitos nos nós da rede, o que implica, não só a optimização de cada um dos modos individualmente, mas também que o seu funcionamento esteja em sintonia com os restantes. Meisel (2013) acrescenta que este esforço de organização das actividades dos diversos agentes constitui um grande desafio para o transporte intermodal, uma vez que uma falha na coordenação destas poderá resultar no incumprimento dos prazos estipulados, correndo o perigo de se ter tempos de entrega longos.

Outro desafio no sucesso da implementação da solução intermodal prende-se com a questão da competitividade, face ao transporte unimodal, sendo necessário criar um serviço que seja simultaneamente a custos reduzidos (sendo capaz de contornar o aumento de custos associado à manutenção da frequência do serviço nos modos de maior capacidade e os custos adicionais devidos às operações de transbordo e de *pre- e endhaulage*) e de qualidade (implicando a melhoria da fiabilidade e da flexibilidade, temporal e espacial). Segundo Trip e Bontekoning (2002), não se trata apenas de uma questão de redução de custos e de aumento de qualidade, deve ser atingida relação de custo-qualidade aceitável.

Convém referir que as operações conduzidas nos terminais intermodais não se limitam ao transbordo da carga, sendo frequentes, especialmente em situações de relações internacionais, situações de inspecção da carga que, para além de violarem a premissa de não-manuseamento da carga associada à adopção das unidades de carga, adicionam custos e aumentam os tempos de espera (Meng & Wang, 2011).

2.2.3 CO-MODAL

2.2.3.1 CONCEITO

Estando definido como *o uso eficiente de diferentes modos por si sós ou quando combinados* (Reis, 2015, p. 6; SteadieSeifi et al., 2014, p. 2), o transporte co-modal constitui um exemplo de transporte semelhante ao intermodal, na medida em que partilha as características da possibilidade, mas não obrigatoriedade, do uso integrado de dois ou mais modos de transporte, e onde se procura atingir uma utilização eficiente dos mesmos, tendo em vista a optimização do consumo dos recursos disponíveis (Harris et al., 2014) e a maximização dos benefícios associados a cada um dos modos, em termos de sustentabilidade geral do sistema criado (SteadieSeifi et al., 2014). Este último deverá

ser simples, sendo que a sua eficiência e fiabilidade advém da substituição da competição entre modos pelo conceito de complementaridade. Convém referir, em adição, que esta noção de cooperação não será exclusiva aos prestadores do serviço de transporte, mas também aos clientes, sendo que é uma solução especialmente atractiva para grupos/consórcios de expedidores, que beneficiam da redução de custos associada à consolidação das diferentes cargas a transportar (SteadieSeifi et al., 2014).

2.2.3.2 REDE

O transporte co-modal actua numa rede idêntica a uma rede intermodal, sendo que a selecção dos modos a empregar no transporte da carga é feita de modo a otimizar a utilização destes recursos e obter um desempenho global o mais eficiente possível.

2.2.3.3 POTENCIAIS BENEFÍCIOS

De acordo com Pleszko (2012), trata-se de uma solução cuja gestão e coordenação são menos complexas, relativamente à intermodal, devido à redução do número de agentes, sendo que a integração dos modos de transporte resulta num serviço atractivo em termos de flexibilidade, de acessibilidade, e prontidão, conseguindo-se atingir-se a redução dos custos, bem como dos impactos ambientais do transporte.

2.2.3.4 DESAFIOS

Convém, contudo, notar que o objectivo do transporte co-modal é atingir a solução mais eficiente para cada caso específico. Neste ponto, Pleszko (2012) chama a atenção para o facto de, em determinadas situações, esta solução poder recorrer transporte rodoviário para efectuar grande parte do transporte; divergindo assim, aparentemente, do propósito de redução do congestionamento das infraestruturas rodoviárias em que se baseou a criação dos conceitos anteriormente descritos.

2.2.4 COMBINADO

2.2.4.1 CONCEITO

O transporte combinado surge como uma variação da solução intermodal, sendo definido por Posset (2010, p. 18) como *transporte intermodal onde a maior parte do trajecto é feito por ferrovia, rio ou mar e os transportes inicial e/ou final feitos por rodovia são tão curtos quanto possível*. Esta característica advém da crescente preocupação com os impactos externos do transporte de mercadorias, sendo que, ao dar preferência ao uso de modos de transporte menos poluentes, se pretende criar uma solução de transporte mais sustentável.

2.2.4.2 REDE

A rede de transporte combinado assemelha-se à intermodal, existindo, no entanto, o cuidado de tornar as porções inicial ou final do trajecto, eventualmente efectuadas por camião, tão curtas quanto possível.

2.2.4.3 POTENCIAIS BENEFÍCIOS

Tratando-se de uma solução de transporte em tudo semelhante à intermodal, o transporte combinado partilha as vantagens do aproveitamento das características de cada modo, do aumento de fiabilidade

e de flexibilidade, bem como de redução de custos de transporte atingida através da consolidação de cargas. Distingue-se, no entanto, pelo facto de apresentar uma solução otimizada em termos da redução dos custos externos do processo de transporte, conseguindo-se um funcionamento sustentável, que reflete as crescentes preocupações ambientais no sector do transporte de mercadorias.

2.2.4.4 DESAFIOS

Segundo as definições de transporte combinado apresentadas por Posset (2010) e Reis (2015), é previsto que o transporte combinado utilize na maior parte do trajecto os modos de transporte alternativos ao rodoviário, terrestres ou aquáticos, tendo em vista atingir soluções ambientalmente sustentáveis. No entanto, diversos autores, nomeadamente Lowe (2005) e Woxenius (1998), referem o transporte combinado como um sub-tipo de transporte intermodal em que se recorre especificamente ao conjunto camião-comboio, excluindo assim as cadeias com recurso aos modos marítimo e/ou fluvial.

Esta diferença na interpretação do mesmo conceito poderá dever-se à diminuta flexibilidade de destinos que os modos marítimo e fluvial conseguem oferecer, especialmente quando comparados com os modos ferroviário e rodoviário. Nestas condições, as limitações por estes apresentadas poderão implicar, em alguns casos, o recurso excessivo ao transporte rodoviário, criando a percepção de que, de uma forma geral, as soluções que utilizam estes dois modos não serão sustentáveis.

2.2.5 SINCROMODAL

2.2.5.1 CONCEITO

O transporte sincromodal surge como uma solução intermodal em que é dado maior ênfase ao aspecto do tempo-real do transporte (Harris et al., 2014). Embora não exista uma definição única para descrever o conceito de sincromodalidade, existe o consenso de que o planeamento sincromodal é idêntico ao intermodal, mas com a possibilidade de efectuar “transferências em tempo-real” entre modos, frequentemente referido como planeamento intermodal *online*. Segundo Riessen (2013a), a “transferência em tempo-real” consiste na alteração da rota da unidade de transporte dentro da rede, por forma a lidar com distúrbios ao transporte, cuja natureza poderá afectar vários serviços em simultâneo (como é o caso de neve, inundações, ou greves), ou apenas determinados serviços (tais como atrasos ou cancelamentos ao serviço). Deste modo, o transporte sincromodal pode ser definido como uma evolução do transporte intermodal (SteadieSeifi et al., 2014), envolvendo uma combinação estruturada, eficiente e sincronizada dos recursos disponíveis e onde, a qualquer momento, as transportadoras e clientes podem seleccionar o modo mais adequado a empregar; estas alterações são efectuadas em tempo-real e de acordo com as circunstâncias operacionais, as exigências do consumidor e a mais recente informação logística (como por exemplo a procura de transporte e as informações de tráfego) (Li et al., 2013).

Esta solução tem por base a noção de cooperação das transportadoras representantes dos vários modos, permitindo uma utilização flexível dos recursos, que se ajusta às exigências do consumidor e às capacidades de transporte disponíveis no momento (Pleszko, 2012).

Burgh (2012) refere como objectivos base do transporte sincromodal: o aumento da eficiência geral de toda a rede, através do aproveitamento das capacidades oferecidas pelos vários modos, da redução do congestionamento da infraestrutura rodoviária e do aumento da fiabilidade do sistema; a redução dos custos totais do transporte, com a redução dos preços de cada modo e o uso otimizado da capacidade destes, aliados à redução dos tempos de espera; bem como a redução dos impactos ambientais que derivam do processo de transporte das cargas.

2.2.5.2 REDE

A cadeia de transporte sincromodal é caracterizada pela formulação de uma rede de *hubs* conectados que considera a existência de múltiplos corredores entre terminais, bem como de transferências intermédias. Pleszko (2012) considera que a consolidação de cargas é um importante elemento neste aspecto, na medida em que permite a criação de serviços frequentes e a utilização de todas as modalidades e terminais disponíveis, reduzindo os custos de trânsito e facilitando a alteração de modo durante o transporte. Convém notar que esta rede poderá abranger várias cadeias de transporte, oferecendo um vasto conjunto de destinos, bem como múltiplas ligações, que conferem, não só maior flexibilidade, como também robustez e redundância ao sistema.

Para este efeito, a rede é visualizada como um conjunto de recursos estacionários, como são as infraestruturas de transporte e os terminais onde é feito o transbordo, e recursos em movimento, que consistem nos veículos que efectuam o transporte em cada troço da ligação entre o par origem-destino. Para responder às exigências de transporte estipuladas pelos clientes, existe uma contínua monitorização e ajustamento das operações de cada um destes recursos, de modo a que se atinja uma harmonização e alinhamento no funcionamento destes tal, que permita a criação de um movimento fluido da carga, ao longo das várias operações realizadas (Behdani et al., 2014).

Em adição a esta sincronização na operação dos recursos, também os vários agentes devem coordenar as suas actividades e decisões internas, de modo a atingir o alinhamento operacional óptimo dos expedidores e transportadores nas suas escolhas de modo e infraestrutura de transporte. Isto permitirá, sempre que desejável, proceder à alteração de modos e redes logísticas de forma livre e expedita, bem como dará a possibilidade aos expedidores de consolidar as respectivas cargas, ou sincronizar o fluxo de unidades de transporte vazias, de modo a tirar partido do maior volume em modos mais baratos e aproveitar os benefícios das economias de escala (Behdani et al., 2014).

2.2.5.3 POTENCIAIS BENEFÍCIOS

O conceito de sincromodalidade apresenta uma visão integrada no planeamento e uso dos diferentes modos de transporte permite aos prestadores de serviços empenhar múltiplas modalidades de uma forma flexível e coordenada na gestão da procura, oferecendo aos clientes um serviço mais eficiente e fiável, com uma maior utilização dos meios de transporte disponíveis, que estimula o uso óptimo destes e permite criar um sistema mais robusto ao tirar partido da sua natureza complementar, atingindo melhores níveis de desempenho (Behdani et al., 2014).

A sincronização na utilização e operação dos recursos, que deve ser feita entre todas as cadeias de transporte abrangidas pelo sistema sincromodal, permite adaptar os serviços das diferentes modalidades disponíveis num único produto de transporte coerente, capaz de satisfazer a procura em

determinado momento e de responder às necessidades específicas em termos de preço, cumprimento de prazos, fiabilidade, ou segurança. Este aspecto estabelece-se como um ponto de divergência da solução sincromodal relativamente às anteriormente referidas, na medida em que se pretende uma integração mais completa dos vários modos, não limitada a cada encomenda específica, mas adoptando uma postura de cooperação e de complementaridade, encarando-os de forma colectiva, ao invés de individualmente. Adicionalmente, ao facilitar as trocas de informação entre os diversos operadores e serviços logísticos no sistema, torna-se possível a optimização do uso da rede e melhorar a resposta em situações excepcionais (Behdani et al., 2014). Pleszko (2012) acrescenta que, desta forma, e ao contrário do que ocorre para as soluções intermodais (onde a carga é transportada numa direcção específica), o transporte sincromodal assume que a qualquer momento pode ser adoptada qualquer uma das opções de transporte disponíveis, garantindo que são usados os melhores métodos de transporte existentes em tempo-real.

2.2.5.4 DESAFIOS

O transporte sincromodal enfrenta, no entanto, algumas questões que derivam do elevado nível de complexidade do planeamento e execução das diversas operações envolvidas no processo de transporte.

Pleszko (2012) refere que, por um lado, a diversidade de parâmetros associados aos veículos a usar durante o transporte (tais como as dimensões, peso suportado, ou capacidade de refrigeração), que devem ser compatibilizados com a natureza da carga e as exigências do consumidor, e a potenciais insuficiências de infraestrutura, tornam difícil a coordenação dos processos de consolidação de cargas a efectuar a cada etapa do trajecto, podendo resultar no aumento de custos com a aplicação de multas se se verificar o incumprimento dos prazos estabelecidos. Esta dificuldade é exacerbada pela falta de dados normalizados e de uma plataforma única para a partilha de informação entre todos os agentes intervenientes na rede.

Por outro lado, terá de se combater possíveis situações de desequilíbrio na utilização dos modos, sendo que, numa determinada ligação, é possível que determinados serviços sejam vistos pelos consumidores como preferíveis na maioria dos casos, resultando num uso desigual dos recursos disponibilizados. Nesta situação, os agentes que providenciam os serviços menos utilizados poderão sentir-se penalizados, vendo a solução sincromodal como pouco viável.

2.2.6 CONCLUSÕES

Neste capítulo foi apresentado um conjunto de conceitos de transporte que têm surgido como soluções alternativas no transporte de mercadorias, que tradicionalmente recorre ao modo rodoviário, e que refletem as crescentes preocupações com aspectos como o congestionamento de infraestruturas, impactos ambientais e os níveis de desempenho das cadeias de transporte.

Na procura por alternativas ao transporte rodoviário, surgiu, numa primeira instância, o conceito de transporte multimodal, que introduziu a ideia de recorrer a mais do que um modo de transporte, criando uma cadeia de transporte mais complexa onde são seleccionados os modos mais adequados em cada porção do trajecto desde a origem ao destino final. Com esta nova configuração, tornou-se possível tomar partido das maiores capacidades do comboio e do barco, sendo que o recurso ao

camião permite contornar as limitações destes, em termos de flexibilidade de ligações. No entanto, este novo conceito apresenta algumas fraquezas, nomeadamente na falta de flexibilidade e fiabilidade, existindo uma propensão para atrasos devido à falta de alinhamento, em termos de operação (por exemplo, devido a diferentes frequências e desfasamento de horários), técnicos (por incompatibilidade de equipamentos), e até de partilha de informação, entre os serviços empregados.

Foi introduzindo, então, o conceito de transporte intermodal, que pretende responder a esta questão através da integração dos vários modos na cadeia de transporte. A integração dos diversos serviços permite oferecer um serviço mais fiável ao torná-los complementares, coordenando as operações levadas a cabo em cada um destes e reduzindo as fricções durante o transbordo. Para isto, é introduzida a prática da consolidação de cargas, que permite tomar partido da capacidade máxima dos veículos e incluir fluxos mais reduzidos na rede intermodal, empregando unidades de carga, compatíveis com todos os modos de transporte, que reduzem o risco de danificação durante as operações de transbordo e conduzem a um aceleração significativo destas últimas. Assim, resulta uma solução que permite oferecer ao cliente um serviço único, *door-to-door*, desde a origem ao destino.

O conceito de transporte intermodal foi sendo refinado à medida que surgiam novas preocupações no sector do transporte de mercadorias. O transporte combinado adiciona uma preocupação com os impactos externos do processo de transporte, dando prioridade ao uso dos modos ferroviário, marítimo e fluvial, de modo a reduzir ao máximo o recurso ao camião, e tendo em vista atingir soluções de transporte ambientalmente sustentáveis. Por sua vez, o conceito de transporte co-modal assenta na procura pela maximização da eficiência da cadeia de transporte, pretendendo-se atingir um uso óptimo e sustentável dos recursos disponíveis.

É de referir que diversos autores consideram que, por partilharem as características da integração de modos e do uso de unidades de carga, os transportes combinado e co-modal constituem “sub-tipos” de transporte intermodal. De facto, as características inerentes a cada um destes conceitos não são mutuamente exclusivas, sendo possível atingir soluções intermodais que sejam simultaneamente sustentáveis, do ponto de vista ambiental, e optimizadas, do ponto de vista da eficiência.

Finalmente, surgiu o conceito de transporte sincromodal, por vezes referido com o “novo passo” a seguir ao transporte intermodal, que introduz a noção de “transferência em tempo real”. A sincromodalidade apresenta, então, duas inovações em relação aos conceitos anteriores: a recolha (monitorização) e partilha de informação em tempo real, que permite, a qualquer momento, ter acesso ao estado do sistema (incluindo infraestruturas, serviços em operação e encomendas em processamento) e, conseqüentemente, rapidamente identificar e responder a eventuais distúrbios; e a flexibilidade para fazer a alteração de modos relativamente ao previsto, seja como resposta a distúrbios ou devida a novas especificações do cliente. Assim, e embora exista um pré-estabelecimento de serviços e um planeamento do transporte de cada encomenda, estes são continuamente revistos e optimizados de acordo com as condições actuais no sistema sincromodal, procurando atingir um uso eficiente e equilibrado de todos os recursos disponíveis. Convém notar que neste aspecto a solução sincromodal se distingue das anteriormente descritas; enquanto que no planeamento dos transportes multimodal e intermodal se pretende aproveitar as características de

cada modo, optando geralmente pelos recursos mais vantajosos existentes, o planeamento sincromodal pretende uma utilização sustentável dos recursos, tentando obter um certo equilíbrio no uso de todos os recursos disponíveis e evitar a sobrecarga de apenas alguns serviços. Para que isto seja possível, a integração de modos já não se cinge aos modos empregues no transporte de cada encomenda, como ocorre no transporte intermodal, mas engloba toda a rede, podendo incluir múltiplas cadeias de transporte.

2.3 Sincromodalidade

Na presente secção será discutida em maior detalhe a execução prática do conceito de sincromodalidade, nomeadamente as operações efectuadas e a interacção entre agentes da rede, bem como como este poderá ser aplicado numa rede real.

Numa primeira instância, o transporte sincromodal será descrito como um processo, i.e. uma sequência de actividades que transformará um *input*, seja este físico ou lógico (como por exemplo, a chegada de uma encomenda a um terminal, ou de um pedido de transporte, respectivamente), num *output* (que poderá ser uma resposta à mensagem recebida ou a movimentação ou entrega da encomenda).

Em seguida, serão apresentados um conjunto de requisitos necessários à aplicação do conceito de sincromodalidade a uma cadeia de transporte existente, ou a desenvolver.

2.3.1 PROCESSO

A execução do transporte sincromodal exige a realização, de forma sequenciada, de um conjunto de operações que possibilitam a movimentação da carga ao longo do itinerário, até atingir o destino final; para tal são consumidos recursos, tais como os serviços de transporte, equipamentos e infraestruturas. Reis (2010) apresenta uma descrição dos vários elementos que compõem o processo de transporte.

2.3.1.1 DEFINIÇÃO DE PROCESSO

Um processo pode ser descrito como um conjunto de actividades relacionadas entre si e executadas de uma forma estruturada, tendo como finalidade a transformação de um dado conjunto de *inputs* em *outputs*. O processo pode ser desagregado em várias fases, de acordo com o grau de detalhe com que se pretende analisar as operações que possibilitam esta transformação.

Ao nível mais elementar estão as tarefas, que constituem cada operação individual que consome tempo e recursos, como por exemplo mão-de-obra, equipamento e materiais, e resulta na transformação do *input* em *output*. Estes *inputs* podem ser de natureza “tangível”, como é o caso da carga a transportar, ou “intangível”, como por exemplo a informação relativa ao estado da carga ou do sistema.

A um nível mais elevado, podem designar-se como actividades os conjuntos de tarefas entre si relacionadas. Estas últimas são executadas de forma sequencial, estando ordenadas de acordo com as existentes relações de precedência, necessárias para concretizar a transformação dos *inputs* da actividade nos respectivos *outputs*.

As actividades interrelacionadas poderão ainda ser agrupadas em subprocessos, sendo a sua realização feita de forma sequencial ou em paralelo, por vezes até de forma cíclica. Será o conjunto dos subprocessos que forma o processo.

Paralelamente a esta visão do processo como um conjunto de acções levadas a cabo para transformar os *inputs* em *outputs*, também se poderá considerar que o processo se constitui como um conjunto de fluxos, sendo que estes são criados pela sucessiva transformação dos *inputs* nas operações desempenhadas por cada agente. Estes fluxos podem ser de diversas naturezas (físico, lógico, ou financeiro, por exemplo), consoante o tipo de *input*, e desenrolam-se entre os diversos agentes do sistema em causa.

2.3.1.2 PROCESSO DE TRANSPORTE SINCROMODAL

No processo de transporte de mercadorias, os *inputs* correspondem à procura pelo serviço, na forma de encomendas a transportar, sendo que o *output* será a movimentação física da carga desde a origem até ao destino; neste panorama, os recursos serão os agentes de transporte, os terminais e as infraestruturas disponíveis.

Assim, o planeamento e execução do transporte de cada encomenda desde a origem até ao destino, pode ser descrito pela seguinte sequência de eventos e operações:

1. **Geração do pedido de transporte** Quando a encomenda é criada no sistema, é enviada uma mensagem a notificar o operador logístico.
2. **Processamento do pedido e planeamento de itinerários** Quando o operador recebe a mensagem enviada, regista a encomenda e é iniciado o planeamento, sendo que para cada encomenda no sistema é seleccionada a melhor solução de transporte, tendo em conta os serviços que serão realizados dentro da janela de transporte e as capacidades disponíveis. Finalizado o planeamento, são reservados os serviços que irão realizar o transporte.
3. **Início do transporte** Atingida a data de início do transporte e estando o itinerário definido, a encomenda é, então, processada no terminal de origem, sendo encaminhada para o serviço de transporte a que foi alocada.
4. **Recolha no terminal** Quando o serviço de transporte alcança o terminal, é efectuada a recolha das encomendas que a si tenham sido alocadas, carregando-as para o veículo.
5. **Transporte entre terminais** Durante o serviço de transporte podem ocorrer eventos externos, que impliquem a interrupção dos serviços: se esta interrupção afectar serviços que ainda não se iniciaram, o operador sincromodal poderá rever o planeamento das encomendas afectadas, encontrando soluções alternativas.
6. **Entrega no terminal** Na chegada ao terminal, são entregues as encomendas que o tenham como destino, ou encaminhadas para a próxima etapa do transporte as que neste devam mudar de modo.
7. **Revisão do planeamento** Durante o transporte, poderá ser necessário introduzir alterações aos itinerários inicialmente atribuídos, quer devido a atrasos (que impossibilitem a utilização do serviço de transporte inicialmente definido para a próxima fase o transporte) ou adiantamentos (que poderão gerar a oportunidade para utilizar um serviço inicialmente previsto como inviável/inexequível para a fase seguinte do transporte), quer devido a cancelamentos de

serviços ou à impossibilidade em recolher a encomenda no terminal. Se isto se verificar, será feito um novo planeamento que tenha em conta as circunstâncias actuais no sistema.

8. **Entrega final** Quando a encomenda alcança o terminal de destino, é então entregue ao cliente final.

Dadas as características do transporte sincromodal, acima descritas, poder-se-ão distinguir dois subprocessos: o subprocesso de Negociação e o subprocesso de Transporte. Convém notar que, ao contrário do que ocorre num sistema intermodal, em que o subprocesso de Negociação é concluído antes de o subprocesso de Transporte ser iniciado, no sistema sincromodal ambos os subprocessos são realizados em simultâneo, tal como ilustrado na Figura 4.

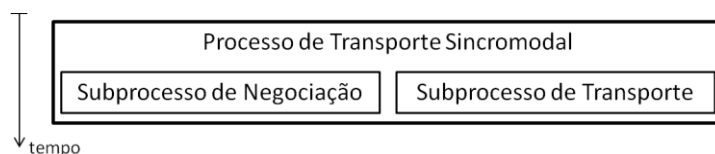


Figura 4 - Separação do processo de transporte sincromodal em subprocessos

2.3.1.2.1 Subprocesso de Negociação

O subprocesso de Negociação, ilustrado na Figura 5, envolve as actividades de solicitação de serviços e de negociação de termos de serviço entre o expedidor e o operador do serviço sincromodal e entre este último e as empresas transportadoras seleccionadas para efectuar o transporte.

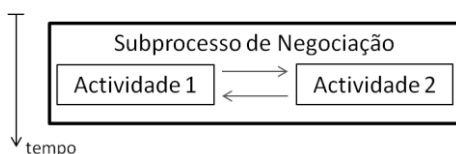


Figura 5 - Subprocesso de Negociação e respectivas actividades

Actividade 1: (Expedidor e Operador Sincromodal) Numa primeira instância, o expedidor contacta o serviço sincromodal para fazer o transporte da sua encomenda. Junto do operador, o expedidor fornece uma descrição da natureza e características da carga, indicando a origem e o destino da encomenda, bem como os prazos de recolha e de entrega a cumprir. Em adição, o expedidor deverá também estipular o nível de qualidade que espera do serviço prestado e preço que está disposto a pagar pelo transporte. Por sua vez, o operador recebe as informações dos vários expedidores, fazendo a distribuição das encomendas pelos vários serviços existentes e organizando as várias cadeias de transporte, prevendo a necessidade de proceder a operações de consolidação e desconsolidação de cargas, bem como os terminais em que estas deverão ser levadas a cabo, apresentando então ao expedidor um conjunto de soluções de transporte que cumpram os seus requisitos, para que este seleccione o plano de transporte que lhe seja mais atractivo.

Actividade 2: (Operador Sincromodal e Empresas transportadoras) Finalmente, o operador reserva capacidades de transporte em cada modo nos corredores da cadeia de transporte, distribuindo as encomendas pelos vários serviços disponíveis de uma forma desejavelmente equilibrada. É responsável por estipular as ligações em que cada serviço é utilizado, indicando onde são executadas as operações de transbordo ou de consolidação e desconsolidação de cargas, bem como de comunicar alterações ao serviço e de reservar os novos modos a empregar. Por sua vez, a

empresa transportadora deve confirmar a capacidade de carga e, durante o processo de transporte, comunicar o estado do transporte, informando de quaisquer distúrbios que ocorram (como por exemplo, atrasos ou cancelamento de serviços).

Uma vez que se trata de uma cadeia sincromodal, este subprocesso de negociação estende-se ao longo de todo o processo transporte, à medida que são comunicadas e aplicadas alterações ao planeamento, quer a mando do expedidor ou devido à ocorrência de distúrbios no sistema.

2.3.1.2.2 Subprocesso de Transporte

O subprocesso de transporte consiste primariamente no transporte físico da carga desde a origem ao destino final, incluindo todas as operações necessárias para a sua execução, tal como ilustrado na Figura 6.

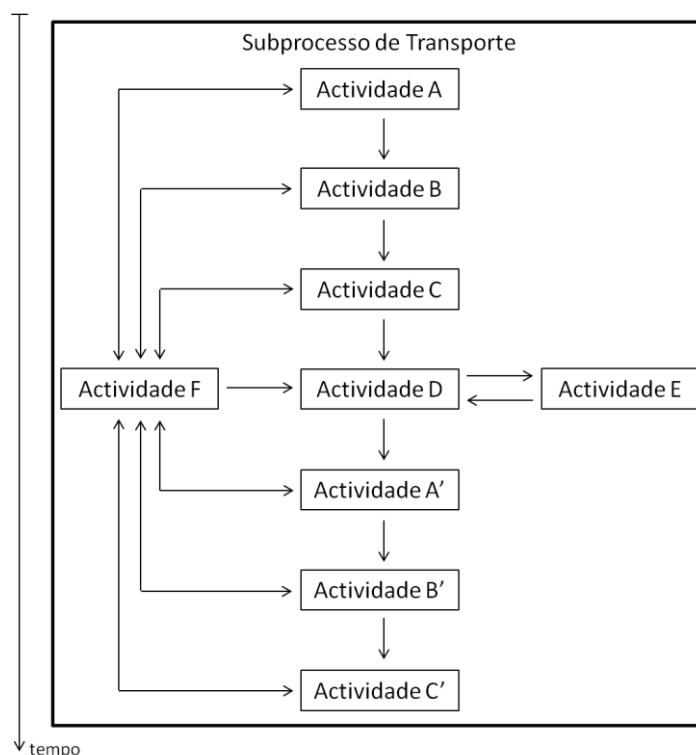


Figura 6 - Subprocesso de Transporte e respectivas actividades

Actividade A (e A'): **Carregamento** Esta primeira actividade consiste na recolha da carga e posterior colocação no veículo que irá efectuar o transporte na ligação correspondente, podendo envolver as operações de consolidação de cargas.

Actividade B (e B'): **Transporte** Após o carregamento do transporte com todas as encomendas, estas são transportadas até ao terminal final da ligação correspondente.

Actividade C (e C'): **Descarregamento** Na chegada ao terminal, a carga é descarregada, procedendo-se às operações de desconsolidação caso o veículo seja apenas parcialmente descarregado ou a carga retirada não seja posteriormente alocada ao mesmo modo.

Os tempos e recursos necessários para levar a cabo as actividades de carregamento e descarregamento, bem como de consolidação e desconsolidação, irão variar consoante o veículo de transporte e as características da própria carga.

Actividade D: Armazenamento Estando a carga no terminal, esta poderá ser temporariamente armazenada, caso o transbordo para o próximo modo não seja ainda possível, ou ser directamente transferida para o modo seguinte, reiniciando-se o ciclo de actividades A a D.

Actividade E: Inspeções alfandegárias Em algumas situações, particularmente no atravessamento de fronteiras em encomendas internacionais, poderão ser levadas a cabo operações de inspecção da carga. Estas impedem o transbordo directo da carga entre modos de transporte, obrigando ao armazenamento da carga no terminal enquanto não é autorizado o seu seguimento.

Actividade F: Gestão Ao longo de todo o transporte, ou seja desde a recolha na origem até à entrega no destino, o subprocesso de transporte é supervisionado por um agente do serviço sincromodal que recebe a informação dos agentes envolvidos no transporte, quer dos que têm, no momento, a carga em sua posse, quer dos que irão posteriormente contribuir para a sua chegada ao destino. Esta informação consistirá do estado do transporte, alertando para atrasos (ou avanços), bem como para distúrbios (como por exemplo a inviabilização das infraestruturas, ou o cancelamento de serviços).

Estando na posse destes dados, e sem descurar o facto de algumas alterações ao transporte poderem ser introduzidas pelo próprio expedidor, o gestor faz a revisão do transporte planeado, reformulando-o para fazer face às novas condições na rede sincromodal e permitir um seguimento fluido da encomenda até ao destino, tentando cumprir os prazos estipulados. Convém notar que esta reformulação do planeamento do transporte não se cingirá, de uma forma geral, apenas a uma encomenda específica, tendo o gestor de considerar os dados de toda a rede sincromodal (abrangendo, por vezes, múltiplas cadeias de transporte) e, sempre que necessário, de criar novos momentos para as operações de consolidação e desconsolidação de cargas, alterar os modos a empregar, ou até mesmo os itinerários.

2.3.1.3 FLUXOS DE TRANSPORTE

Tal como descrito anteriormente, os fluxos são gerados quando o *output* de uma actividade é utilizado para *input* da actividade que se segue. No transporte de mercadorias existem quatro fluxos que é importante ressaltar: os fluxos físico, lógico, de capital e de responsabilidades.

2.3.1.3.1 Fluxo Físico

O fluxo físico corresponde à movimentação da carga, desde a recolha na origem até à entrega no destino, compreendendo todas as acções desempenhadas pelas empresas transportadoras e as operações executadas nos terminais. Este fluxo coincide com o subprocesso de transporte, anteriormente descrito, tal como ilustra a Figura 7.

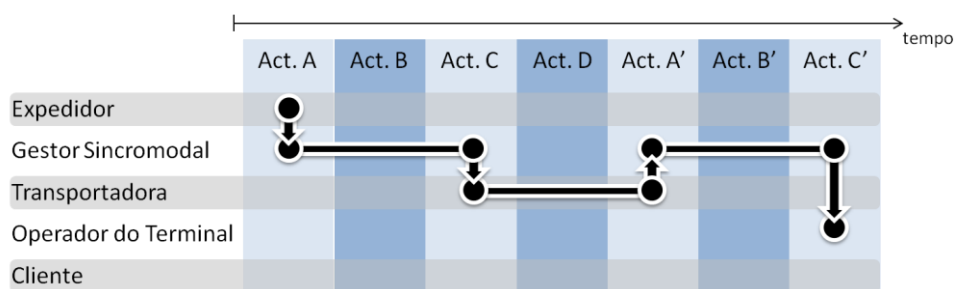


Figura 7- Fluxo físico no processo de transporte sincromodal

2.3.1.3.2 Fluxo Lógico

O fluxo lógico consiste nas trocas de informação entre os agentes da cadeia de transporte. Trata-se de um elemento fulcral em qualquer conceito de transporte, mas especialmente no transporte sincromodal, uma vez que a oferta da possibilidade de alteração em tempo real depende, não só do conhecimento do estado actual de encomenda e da rede, mas também da capacidade de rapidamente notificar todos os agentes envolvidos quando seja introduzida alguma alteração ao planeado. Para além desta permanente troca de informação entre os agentes, o sistema sincromodal tem a particularidade de esta ser disponibilizada para todos os agentes, de modo a que todos operem sob as mesmas circunstâncias percebidas.

2.3.1.3.3 Fluxo de Capital

O fluxo de capital corresponde ao pagamento pelos serviços efectuados por cada agente envolvido no processo de transporte. Dadas as características do sistema sincromodal, nomeadamente a possibilidade de, a qualquer momento, alterar o processo de transporte relativamente ao planeamento inicial, existem algumas diferenças no fluxo de capital quando comparado com os restantes conceitos de transporte. Ao passo que num transporte multimodal, ou intermodal, os modos de transporte a empregar no processamento de determinada encomenda são conhecidos à partida (podendo o pagamento a cada agente ser feito assim que este efectua o serviço), a incerteza que existe no transporte sincromodal relativamente ao uso efectivo dos recursos previstos inviabiliza este tipo de fluxo. Aliada ao facto de as empresas transportadoras operarem num regime de cooperação, implicando uma distribuição dos ganhos do sistema sincromodal por todos os agentes, os pagamentos só serão efectuados após a conclusão do processo de transporte.

2.3.1.3.4 Fluxo de Responsabilidades

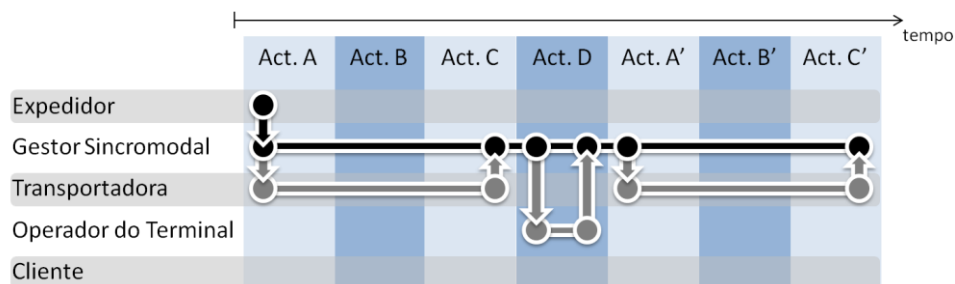


Figura 8 - Fluxo de responsabilidades do processo de transporte sincromodal [Adaptado de: (Reis, 2010)]

No sistema sincromodal, é celebrado um contrato entre o expedidor e o gestor sincromodal, através do qual o primeiro confia a carga ao segundo, esperando que esta alcance o destino dentro de determinado prazo e nas condições em que esta foi recolhida. No entanto, o risco de danificação dos bens (durante o transporte, ou no manuseamento nos terminais), ou de incumprimento dos prazos (devido ao fraco desempenho dos agentes, ou às condições da infraestrutura – tais como o congestionamento, ou fenómenos climatéricos adversos), obriga à definição de um mecanismo de atribuição de responsabilidades e de justa indemnização do cliente, na eventualidade de estas situações ocorrerem.

Na cadeia de transporte sincromodal existe uma relação hierárquica entre os diversos agentes, sendo que o expedidor delega o planeamento e a concretização do transporte ao transitário (que é um agente do gestor sincromodal), que, por sua vez, delega a execução do transporte para as empresas

transportadoras e operadores dos terminais. Ao fazer esta delegação de funções, está simultaneamente a transferir-se a responsabilidade pelo incumprimento das condições estipuladas no contrato.

Assim, o fluxo de responsabilidades desenrolar-se-á em paralelo com o fluxo físico, durante as operações de transporte da carga desde a origem ao destino. Uma vez que são as empresas transportadoras e operadores dos terminais quem irá efectivamente manusear a carga, serão estes os responsáveis por quaisquer danos físicos causados, respondendo perante o operador sincromodal (e, ultimamente, perante o cliente). Na questão do incumprimento dos prazos estipulados, a responsabilidade poderia, igualmente, ser imputada nos agentes que efectuam o transporte; no entanto, há que considerar que, dadas as características do transporte sincromodal (cuja faceta de alteração em tempo-real pretende responder, precisamente, a este tipo de situação), o gestor do sistema deveria ser capaz de prever estas situações e tomar medidas correctivas que evitassem a sua ocorrência.

É importante notar que, actualmente, não existe legislação para as cadeias de transporte com recurso a múltiplos modos, pelo que esta atribuição de responsabilidades é bastante complexa de definir, podendo variar consoante o caso específico.

2.3.2 REQUISITOS DE APLICAÇÃO

O sistema sincromodal tem diversas particularidades no seu funcionamento, sendo que o sucesso da implantação de uma cadeia de transporte deste tipo dependerá da reunião de um conjunto de elementos. Alguns autores discutem os requisitos que uma nova rede de transporte sincromodal deveria cumprir, sendo estes de carácter infraestrutural, contratual, tecnológico e organizacional.

2.3.2.1 INFRAESTRUTURA/CONNECTIVIDADE

Uma primeira questão relaciona-se com a adequabilidade dos recursos existentes para a inclusão na rede sincromodal, ou seja, no dimensionamento da rede apenas as ligações com potencial para servir o conceito de sincromodalidade deveriam ser incluídas. Isto envolve vários aspectos, desde a infraestrutura e serviços existentes, aos fluxos esperados nas ligações.

Sendo que no conceito de sincromodalidade não se pretende a criação de novos serviços de transporte (empresas ou novos modos), ou de nova infraestrutura, mas sim de utilizar os recursos existentes de uma forma mais equilibrada e eficiente, Behdani (2014) argumenta que a escolha de itinerários e corredores para o serviço sincromodal dependerá das infraestruturas existentes e dos equipamentos de transporte disponibilizados pelas transportadoras (em termos de frota e características dos veículos utilizados, bem como terminais e armazéns) e da sua adequabilidade para suportar os fluxos previstos em cada ligação. Burgh (2012) acrescenta que estas ligações devem ser implantadas apenas onde exista mais do que um modo de transporte a operar, de modo a rede seja composta por corredores multimodais, e onde os serviços disponibilizados ofereçam níveis de qualidade (em termos frequência e capacidade de transporte) e fiabilidade consistentes com os objectivos de desempenho definidos aquando da decisão de criação do sistema sincromodal.

Neste aspecto, a dimensão dos fluxos tem um papel importante para a criação da rede de corredores multimodais, uma vez que as infraestruturas e serviços existentes foram criados porque existe

procura suficiente para obter um funcionamento sustentável/lucrativo das empresas/negócios, sendo que isto se mantém ao adoptar uma solução sincromodal, em que os volumes a transportar são distribuídos pelos vários modos. Burgh (2012) e Behdani (2014) apontam a consolidação de cargas como forma de integrar na cadeia de transporte sincromodal fluxos mais reduzidos, que de outra forma seriam transportados por camião, e de aumentar os volumes de transporte na rede. A consolidação de cargas poderá beneficiar de um maior número de transbordos, pelo que a rede sincromodal deverá contemplar um conjunto de terminais onde esta transferência possa ser realizada.

A importância destes terminais não se deve apenas ao facto de facilitar a consolidação de cargas, mas também ao facto de estes serem o elemento de conexão entre os vários modos que servem o corredor, possibilitando a alteração de modos que caracteriza as soluções de transporte multimodais e, conseqüentemente, a sincromodal. Em particular, Burgh (2012) argumenta que na ocorrência distúrbios (devido ao congestionamento de infraestruturas, ou ao atraso ou cancelamento de serviços, por exemplo) deve ser possível transferir a carga para o modo de transporte mais adequado face às novas circunstâncias, pelo que deverão existir os equipamentos necessários para efectuar o transbordo de forma célere, aumentando assim a capacidade de resposta do sistema sincromodal.

2.3.2.2 TARIFAÇÃO E CONTRATOS

Por definição, o transporte sincromodal deverá permitir a alteração de modos, relativamente ao inicialmente planeado, a qualquer instante. Nestas condições, o transitário irá escolher o modo de transporte mais adequado a empregar para uma determinada encomenda, estando livre de alterar esta decisão, desde que respeite as especificações dadas pelo expedidor. Esta característica do transporte sincromodal levanta duas questões: que mecanismo deve existir para permitir a alteração de modo, em relação ao pré-estabelecido, sem que haja penalização; e qual o mecanismo de tarifação a aplicar.

A primeira questão relaciona-se com a potencial penalização, quer do expedidor, que reserva um serviço que não irá efectivamente utilizar, quer da empresa transportadora, que reserva disponibilidade de carga para uma encomenda que não irá transportar. Neste aspecto, Behdani *et al.* (2014) introduzem como requisito de uma rede de transporte sincromodal o conceito de “*mode free booking*”, segundo o qual o expedidor, ao invés de reservar contentores em determinado modo de transporte, reserva, junto do transitário, um serviço de transporte a determinado preço e com determinado nível de qualidade, não havendo uma vinculação com um modo de transporte específico, ficando a escolha dos modos ao critério do transitário.

A segunda questão advém do facto de, ao permitir a alteração dos modos de transporte, se estar a divergir do planeamento inicial para o processo de transporte e, conseqüentemente, os custos associados não corresponderão aos previstos. Behdani *et al.* (2014) e Burgh (2012) discutem o impacto desta questão na tarifação do serviço sincromodal, não só na perspectiva do cálculo do preço do transporte, mas também da óptica da distribuição dos ganhos pelos diversos agentes. De facto, apesar de o pagamento poder ser efectuado apenas após a conclusão processo de transporte, ao solicitar o serviço sincromodal o expedidor deverá receber um valor (ou uma estimativa) para o preço final a pagar pelo mesmo, com o qual avalia a atractividade da solução.

Assim, será necessário adequar os contratos entre agentes para enfrentar esta nova realidade, sendo que apesar de alguns autores, nomeadamente os acima referidos, já estudarem as preocupações que deverão ser contempladas nos mesmos, este processo encontra-se ainda num estado embrionário, não havendo uma definição concreta dos termos sob os quais os contratos deverão ser celebrados.

2.3.2.3 ORGANIZAÇÃO

Uma cadeia de transporte é constituída por um conjunto de agentes, cada um com interesses e objectivos próprios segundo os quais irá otimizar o respectivo serviço, o que poderá dar origem a uma rede “sub-otimizada”, i.e. com serviços otimizados mas de fraco desempenho global. Em adição, é de notar que, ao contrário do que ocorre no transporte intermodal, em que a integração se restringe aos modos a empregar no transporte de uma determinada encomenda, no transporte sincromodal a integração engloba todos os serviços disponibilizados, e por vezes múltiplas cadeias de transporte, como forma de oferecer a flexibilidade na alteração de modos pela qual a solução é caracterizada.

Neste aspecto, Behdani *et al.* (2014) e Burgh (2012) reflectem sobre a importância de contratualizar as relações entre os diversos agentes no sistema, defendendo que o sucesso da implantação de um sistema sincromodal dependerá de uma clara definição das metas e objectivos que se pretendem alcançar, bem como da definição de um mecanismo de distribuição de ganhos, aceite por todos os agentes, e do estabelecimento de um conjunto de regras, ou directrizes, que permitam, não só coordenar os serviços, mas também garantir que as decisões internas tomadas por cada um dos agentes não estão em desacordo com os objectivos definidos para o sistema sincromodal. Burgh (2012) acrescenta a noção de “orquestração”, segundo a qual deveria existir uma entidade com uma visão global do sistema e responsável, não só por assegurar que os agentes cumprem os níveis de desempenho definidos, mas também por coordenar o transporte em circunstâncias imprevistas. Esta entidade poderá pertencer ao sistema, como por exemplo um expedidor ou transportadora, ou até um conjunto de agentes, ou poderá ser externa, como por exemplo um serviço logístico contratado para desempenhar esta função.

Finalmente, para que a implantação do sistema de transporte sincromodal tenha sucesso, Burgh (2012) considera que também os expedidores deverão colaborar para o seu funcionamento, sendo apontada como um requisito a estipulação de um “tempo de avanço” para a colocação de encomendas. Este advém do facto de que, para permitir o recurso aos modos de transporte que não o camião (menos flexíveis em termos do momento em que o processo de transporte pode ser iniciado), a janela temporal entre o momento em que a encomenda é colocada e o prazo final de entrega deve ser suficientemente alargada para permitir, não só o planeamento do transporte, como também a mobilização dos recursos necessários para a integração da encomenda na cadeia de transporte.

2.3.2.4 TECNOLOGIA

O sistema sincromodal é caracterizado pela sua faceta de intervenção em tempo real no processo de transporte, factor que o torna bastante atractivo e inovador como conceito de transporte de

mercadorias. No entanto, discutem Behdani *et al.* (2014) e Burgh (2012), a sua concretização implicará uma reorganização das actuais formalidades na troca de informação entre os agentes, bem como a criação de um novo mecanismo/veículo que permita a sua partilha.

Numa primeira instância, os autores referem a importância da monitorização das operações durante o processo de transporte, particularmente na ocorrência de distúrbios na rede, como por exemplo o congestionamento de infraestruturas, atrasos, ou cancelamentos de encomendas e serviços, sendo que estes poderão tornar o planeamento inicial do transporte inviável, ou “sub-ótimo”, face às novas circunstâncias no sistema. Assim, a monitorização sistemática e em tempo-real facilita a identificação destas situações pontuais e conseqüente implantação de medidas correctivas. Neste ponto, para atingir um uso óptimo de todos os recursos disponíveis no sistema sincromodal, com uma equilibrada alocação das cargas às reais disponibilidades de recursos, requer-se, não só o acesso a informação precisa e actual acerca do estado e disponibilidades de capacidade, serviços e infraestruturas, mas também que todos os agentes tenham acesso à mesma informação, de modo a permitir uma resposta rápida e coordenada. Behdani (2014) reforça que esta partilha deverá englobar os agentes de toda a rede sincromodal, ao invés de apenas ser feita entre os agentes intervenientes em cada cadeia de transporte, de modo a permitir ajustes em tempo real, particularmente nas situações de alteração de modo, ou até de itinerário.

É proposta pelos autores a criação de uma plataforma virtual, que Burgh (2012) designa por “painel de instrumentos virtual”, como ferramenta de recolha e partilha de toda a informação. Esta plataforma, à qual todos os agentes da rede sincromodal têm acesso, possibilitará, então, a divulgação toda a informação relativa às encomendas (por exemplo, o estado, as características e especificações), aos recursos (por exemplo, disponibilidade, ou utilização esperada), aos serviços (por exemplo, capacidade disponível, atrasos, ou cancelamentos) e às infraestruturas (por exemplo, congestionamento); irá também permitir, de forma simples, a actualização destes elementos face a novas circunstâncias observadas na rede.

Em adição, Burgh (2012) sugere que os processos burocráticos associados à encomenda, tais como as declarações e licenças de trânsito, ou as autorizações e documentação da alfândega, sejam em formato digital. Deste modo, tornam-se mais céleres os processos de verificação, alteração, preenchimento e emissão da documentação, diminuindo o risco de atrasos na entrega da encomenda devido a detenções nos terminais.

3 Metodologia e Aplicação ao Caso de Estudo

No presente capítulo é feita uma revisão da literatura sobre o métodos de simulação existentes, seguindo-se a apresentação da cadeia de transporte sobre a qual incidirá o estudo das potenciais mais-valias do conceito de sincromodalidade. Posteriormente, será feita uma descrição conceptual dos atributos de cada um dos agentes que actua no sistema e das diversas operações que se desenrolam durante o processo de transporte, ilustrando as acções de cada agente, fruto das interacções entre estes e o ambiente em que se inserem. Finalmente, será feita a transposição destas descrições para o *software* de modelação, detalhando-se a estrutura do modelo construído.

3.1 Modelos e Ferramentas Existentes

3.1.1 MODELAÇÃO

A modelação surge como uma ferramenta extremamente útil no desenvolvimento e teste de potenciais soluções para problemas identificados em sistemas do mundo real, onde a experimentação com os elementos físicos está inviabilizada devido a factores: económicos, por exemplo os custos associados à implementação da solução, ou à re-estruturação do sistema e dos processos para a poder acomodar; temporais, sendo que os impactos das alterações no sistema (nomeadamente, económicos, nas populações, ou de desempenho) poderão, em alguns casos, apenas ser percebidos a médio ou longo prazo; entre outros.

Dado que a construção do modelo implica a análise dos elementos que constituem o sistema, bem como das suas relações e influências no desempenho dos processos, a construção do modelo, argumenta Borshchev (2013), permite, não só uma melhor compreensão da estrutura e interacções entre elementos do sistema real, como também a aplicação de variações às condições no sistema, testando a sua resposta a diversas situações, comparando possíveis cenários, ou até otimizando os processos, antes de implementar a solução no mundo real.

O modelo constitui-se, então, como uma simplificação do sistema real, conseguida através de um processo de abstracção, sendo que esta representação é feita segundo uma linguagem de programação (Borshchev, 2013). Este processo de abstracção, segundo Borshchev e Filippov (2004), consiste na determinação do nível de detalhe com que se pretende a caracterização dos elementos que compõem o sistema e da sua relevância para a representação dos processos existentes, pretendendo-se a inclusão de todos os elementos e relações considerados importantes e a eliminação dos detalhes irrelevantes, resultando assim num sistema menos complexo do que o original, mas capaz de simular as causas (percebidas) do problema em questão, bem como os impactos que a solução terá quando adoptada no sistema.

Podem, então, criar-se modelos desde um nível micro, mais operacional, onde é feita uma representação altamente detalhada dos objectos reais e das suas interacções físicas (com dimensões, velocidade, distâncias e tempos), até um nível macro, mais estratégico, onde populações de objectos poderão ser reduzidas a agregados e onde a utilização de estatísticas permite avaliar relações e influências sem a necessidade de modelar passos intermédios (Grigoryev, 2015).

3.1.2 MÉTODOS DE SIMULAÇÃO

No contexto de simulação, Grigoryev (2015) define o método como o “enquadramento para traduzir o sistema real para o modelo” ou como a “linguagem” ou “termos e condições” da construção do modelo. O método de simulação consiste, então, na forma como os objectos/entidades são caracterizados e representados (gráfica e computacionalmente) no modelo e na forma como estes podem interagir entre si, bem como com o ambiente em que se inserem, ao longo da corrida da simulação.

Borshchev e Filippov (2004) descrevem as três principais abordagens actualmente existentes na construção de modelos de simulação:

Dinâmica de Sistemas Encontrando-se ao nível de maior abstracção, assenta na redução das entidades e populações do sistema a agregados de características homogéneas, também designados por *stocks*, e na representação dos processos reais através dos fluxos entre *stocks* e da informação – ciclos de *feedback*, balanços e reforços – que irá influenciar o valor destes fluxos.

Eventos Discretos Encontrando-se ao nível de médio-elevado detalhe, assenta na representação do sistema como um conjunto de entidades, representantes de indivíduos ou objectos reais singulares, que são processadas ao longo de uma sequência de operações que poderá implicar a alteração dos atributos das entidades, bem como o consumo de recursos.

Por Agentes Sendo um método mais recente, permite a representação do sistema, não através do conjunto de operações a desempenhar, ou do estudo dos impactos globais de determinadas medidas introduzidas no sistema, mas sim através da definição dos comportamentos individuais de cada entidade, os chamados agentes, sendo que estes comportamentos poderão influenciar, ou ser influenciados pela sua relação com outros agentes, bem como pelo ambiente em que se inserem.

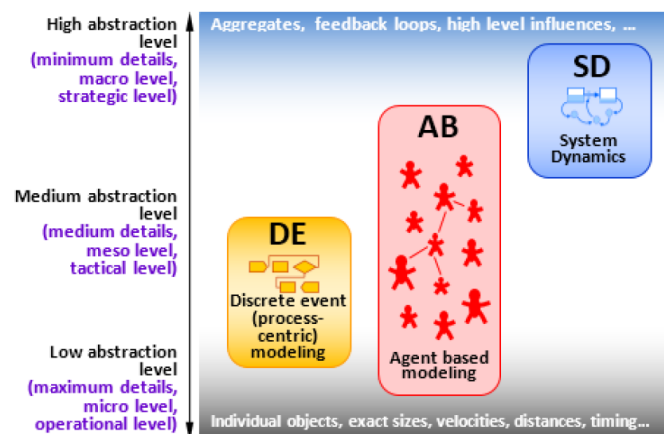


Figura 9 – Paradigmas da modelação por simulação à escala do nível de abstracção [Fonte: (Grigoryev, 2015)]

No contexto das cadeias de transportes, e particularmente no caso dos sistemas Intermodal e Sincromodal, pretende-se que o modelo seja capaz de simular, por um lado a sequência de operações que permite o transporte da carga desde a origem ao destino, e por outro o processo de tomada de decisão do operador/transitário durante o planeamento do transporte. Assim, na presente tese foram aplicados ambos os métodos de modelação por eventos discretos e por agentes, sendo em seguida apresentada uma visão mais aprofundada de cada um destes tipos de modelação.

3.1.2.1 MODELAÇÃO POR EVENTOS DISCRETOS

A modelação por Eventos Discretos, a par da Dinâmica de Sistemas, constitui um dos métodos tradicionais de simulação, tendo sido introduzida em 1961 por Geoffrey Gordon, engenheiro da IBM, que apresentou a primeira versão de GPSS (General Purpose Simulation System), considerada primeira implementação de software a aplicar este método (Borshchev, 2013).

Brailsford e Hilton (2001) definem os modelos de Eventos discretos como uma *rede de filas de espera e actividades, onde as mudanças de estado ocorrem em pontos discretos no tempo*, sendo que o sistema real é descrito como um processo, i.e. uma sequência de operações realizadas sobre um conjunto de entidades que populam o sistema e geralmente efectuadas utilizando um conjunto de recursos disponíveis. Graficamente, isto traduz-se na representação do sistema como um fluxo de processos, com uma sequência de blocos que descrevem as várias actividades (Figura 10), sendo que a duração das mesmas é geralmente definida com recurso a funções de distribuição de probabilidade e a ordem em que estas ocorrem, bem como as condições a verificar para que isto aconteça, poderão ser mais ou menos complexas consoante o sistema que se pretenda modelar.

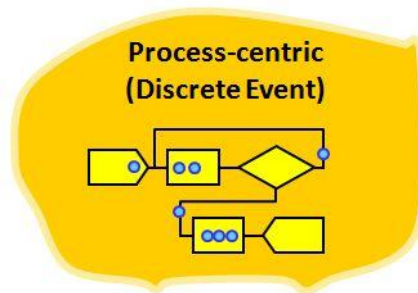


Figura 10 - Modelação por Eventos Discretos [Fonte: (Anylogic, 2016)]

Na modelação por Eventos Discretos, o sistema é construído com base em três tipos de elemento:

Entidades São indivíduos ou objectos, com atributos próprios, tais como idade ou género – no caso de indivíduos -, dimensão, peso, ou tipo – no caso de objectos – , sendo estes o alvo de transformação durante o processo; as entidades podem ser, nomeadamente: clientes de um serviço, utentes num hospital, produtos fabricados, ou partes do produto final, documentos ou carga a transportar, mensagens ou ideias a transmitir.

Recursos Constituem os elementos necessários para realizar as operações, possuindo estes também atributos próprios, tais como horário de serviço/funcionamento, capacidade, ou velocidade; alguns exemplos de recursos são: trabalhadores, operadores, pessoal médico num hospital, equipamento, ou veículos de transporte.

Operações São o conjunto de actividades realizadas ao longo do processamento de cada entidade, podendo incluir: a geração de novas entidades; a introdução de atrasos, que simulam o tempo de realização de determinadas acções; os serviços desempenhados pelos recursos; a separação ou agregação de fluxos paralelos; a escolha entre ramais paralelos no processo; ou filas de espera para a utilização de recursos.

Borshchev e Filippov (2004) referem ainda que as entidades são “objectos passivos”, i.e., embora os atributos inerentes às entidades possam afectar a forma como estes são processados ao longo da sequência de operações (podendo, por exemplo, ser a base para a escolha entre possíveis ramais do

processo, ou para a atribuição de prioridades nas filas de espera para a utilização de um recurso) e podendo a própria realização das operações alterar alguns destes atributos, as entidades em si não possuem comportamento próprio, sendo que quaisquer alterações observadas são produto da realização das operações, e não de decisões ou acções da entidade.

Borshchev (2013) refere que este método de simulação permite obter, por exemplo:

- a utilização de recursos;
- o tempo de estadia das entidades no sistema;
- os tempos de espera, bem como a dimensão das filas de espera;
- a produtividade do sistema;
- a identificação dos pontos críticos do sistema;
- os custos, e a estrutura de custos, do processamento das entidades.

3.1.2.2 MODELAÇÃO POR AGENTES

Segundo Borshchev (2013), apesar de a modelação por agentes já ser anteriormente alvo de estudo no meio académico, a adopção deste método no âmbito dos modelos de simulação só se iniciou no início dos anos 2000, incentivada pelo desejo de melhor compreender os sistemas difíceis de representar nos métodos tradicionais, bem como pelos avanços na tecnologia de modelação e o aumento da capacidade de processamento e de memória dos computadores que vieram a permitir o desenvolvimento destes modelos, computacionalmente mais exigentes do que os tradicionais.

De acordo com Bonabeau (2002), na modelação por agentes o sistema é modelado como um conjunto de entidades capazes de tomar decisões autónomas, acrescentando Siebers (2010) que a modelação por agentes é particularmente indicada para situações em que se pretenda a simulação de indivíduos cujas acções resultem, não de uma sequência pré-definida de actividades, mas sim de uma reacção flexível às diversas ocorrências no sistema, sejam estas devidas a eventos que ocorrem no ambiente em que as entidades se inserem, ou como resposta aos comportamentos de outras entidades.

Assim, na modelação por agentes, o sistema é descrito como um ambiente populado por um conjunto de indivíduos, denominados por agentes, que são programados no intuito de simular um comportamento real, tendo a capacidade de comunicar entre si e de perceber as condições no sistema.

Neste contexto, cada agente possui um conjunto de objectivos próprios e um conjunto de comportamentos, ou acções, que são estruturados de acordo com um ciclo interno e activados de acordo com estímulos internos ou externos. É de referir que, dada o facto de a modelação por agentes ser um conceito relativamente recente, e dada a sua aplicabilidade a vários campos do conhecimento (que poderão definir de diferentes formas o que é que constitui a autonomia num indivíduo), não existe consenso em relação aos atributos que a entidade deve possuir para ser considerado um agente. Neste ponto, Ahmed e Warith (2013) consideram que existirão múltiplos tipos de agente, podendo estes ser: **reactivos**, quando a tomada de decisão só é feita como reacção a ocorrências externas, devendo, para isto, ser capaz de perceber as condições do sistema, bem como de comunicar com os restantes agentes; **adaptativos**, quando a reacção aos estímulos se

altera ao longo do tempo; **proactivos**, quando a tomada de decisão é feita com base no estado interno, ou o comportamento actual, do agente e sem necessidade de estímulos, sendo que o agente procura atingir o seu objectivo pré-determinado; **aprendizes**, quando estes têm a capacidade de “memorizar” informação, seja acerca de outros agentes, do ambiente, ou dos resultados de decisões anteriores, e utilizá-la em futuras tomadas de decisão; **inteligentes**, quando o processo de aprendizagem é já extremamente sofisticado e a tomada de decisão envolve um conjunto de algoritmos de decisão bastante complexos, podendo considerar-se que já se encontram no domínio da Inteligência Artificial.

Graficamente, o comportamento dos agentes é representado por um *statechart*, ou diagrama de estados (Figura 11). Cada estado representa um comportamento que o agente adopta naquele momento, e no qual poderá desempenhar um conjunto de acções, nomeadamente a comunicação com outros agentes. A alteração entre estados poderá ser despoletada por estímulos internos, como por exemplo a verificação de uma condição pré-estabelecida ou a determinação de um tempo de permanência nesse estado, ou por estímulos externos, nomeadamente mensagens enviadas por outros agentes, ou a ocorrência de eventos no ambiente.

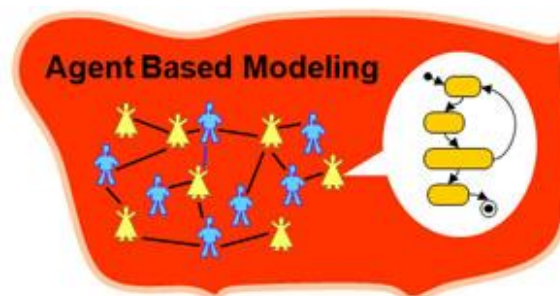


Figura 11 - Modelação por Agentes [Fonte: (Anylogic, 2016)]

Segundo Borshchev (2013) e Borshchev e Filippov (2004), uma das inovações da modelação por agentes, face aos métodos tradicionais, é o facto de permitir a construção do modelo sem ter o conhecimento perfeito do funcionamento do sistema, i.e. em situações em que não é possível perceber a existência de uma sequência global de operações que se desenrola, ou identificar quais as variáveis chave e a forma como estas se relacionam e influenciam a um nível agregado, é ainda assim possível criar um modelo com base no conhecimento existente acerca das entidades que compõem o sistema e dos seus comportamentos.

Assim, a construção do modelo é feita no estilo *bottom-up*, sendo que modelação incide na definição das regras de comportamento ao nível do indivíduo, e na forma como este interage com outros agentes ou com o ambiente em que se insere, que poderá ter a sua própria dinâmica. O comportamento global do sistema será então o resultado das decisões e acções individuais dos diversos agentes que neste coexistem. Neste ponto, Bonabeau (2002) considera que este tipo de construção permite ao modelos baseados em agentes captar fenómenos emergentes que, não fazendo parte do comportamento individual de cada agente, surgem sim como resultado do acumular das decisões individuais de cada um, bem como das interacções entre estas entidades.

Borshchev (2004) e Baidur e Viegas (2011) argumentam que, para além da capacidade em reproduzir sistemas cujos processos não sejam totalmente percebidos pelo modelador, é

aplicável a vários níveis de abstracção e permite a captura de dinâmicas e estruturas de sistema de carácter modular, descentralizado, ou alterável, consideradas mais complexas, difíceis, ou mesmo impossíveis, de representar utilizando os métodos tradicionais.

Siebers *et al.* (2010) e Bonabeau (2002) compilam uma lista extensiva dos diversos tipos de sistema em que a modelação por agentes é particularmente atractiva, nomeadamente:

- sistemas em que se pretenda a simulação dos comportamentos individuais de elementos de uma população, sendo que estes poderão ter entre si relações dinâmicas, que se formam e dissipam ao longo do tempo, por vezes até gerando efeitos de rede;
- quando o comportamento dos agentes não é linear, operando sob limites de valores ou verificação de condições;
- quando é necessário que os agentes do sistema desenvolvam capacidades de aprendizagem e adaptação ao desenvolvimento do sistema, podendo até adoptar comportamentos estratégicos de antecipação das reacções dos restantes agentes durante o processo de tomada de decisão, bem como capacidades de socialização, podendo os agentes não só comunicar entre si, mas também de formar relações com os mesmos, que se fortalecem ou dissolvem ao longo do tempo e que poderão envolver a sua cooperação durante a tomada de decisões;
- quando a componente espacial influencie os comportamentos dos agentes;
- quando não seja possível obter o resultado a partir de dados pré-existentes, por exemplo quando se pretende acrescentar novos elementos no sistema, cujo impacto não pode ser previsto com base em dados passados;
- quando a estrutura dos processos é resultado das decisões individuais dos agentes, ou certas perturbações no funcionamento do sistema só são visíveis quando reunido um determinado conjunto de condições.

3.1.3 FERRAMENTAS DE MODELAÇÃO

O modelo de simulação desenvolvido na presente dissertação foi construído com recurso ao *software* de simulação *Anylogic*, criado pela empresa *XJTek Technologies*. Este instrumento, baseado na linguagem Java, permite a criação de modelos de acordo com cada um dos métodos de Dinâmicas de Sistemas, Eventos Discretos e por Agentes, bem como a construção de modelos híbridos/mistos, que conjugam elementos de cada um destes métodos.

O *software* apresenta uma interface bastante intuitiva e visual, possuindo bibliotecas com diversos elementos previamente criados e adoptando o mecanismo de *drag-and-drop* para os adicionar ao modelo. A configuração destes elementos já possui algumas pré-definições, o que permite ao não-conhecedor da linguagem Java configurar facilmente os elementos e os seus atributos de acordo com as especificações necessárias para melhor recriar o sistema real, mas mantém a opção de adição de código, permitindo ao programador personalizar, ou melhor especificar, alguns aspectos ou processos do modelo.

Na presente dissertação, é importante realçar que foi necessário um esforço de configuração, bem como o desenvolvimento de funções auxiliares, na maioria dos elementos utilizados, sem o qual não

seria possível a adequada replicação das acções realizadas pelos vários agentes da cadeia de transporte. Assim, todos os cálculos e verificações efectuados, bem como as lógicas de tomada de decisão que regem os comportamentos e processos desempenhados pelos agentes do sistema, conforme serão descritos nas secções seguintes, têm por base um conjunto de funções especialmente desenvolvidas para a obtenção dos *outputs* desejados, estando estas no cerne da execução do modelo.

Para uma melhor compreensão dos mecanismos de computação implementados no modelo de simulação desenvolvido, e mencionados ao longo das próximas secções, poderá ser consultada no Anexo 2, uma compilação das principais funções criadas.

3.2 Cadeia de Transporte – O Corredor Atlântico

Para a selecção do Caso de Estudo, o acesso ao estudo elaborado por BG *et al.* (2016) permitiu a análise de dados reais relativos às características da infraestrutura rodo e ferroviária, bem como às operações realizadas, na Península Ibérica e em França, tendo-se considerado que este reunia as informações necessárias para auxiliar no desenvolvimento do modelo de simulação.

A cadeia de transporte a modelar corresponde, então, ao Corredor Atlântico, que estabelece a ligação ferroviária de mercadorias entre os principais portos do litoral português, bem como os restantes portos e terminais portugueses, espanhóis e franceses, até à fronteira Franco-Alemã.



Figura 12 – Esquematisação da cadeia de transporte simplificada, baseada no Corredor Atlântico

Por motivos de simplificação, o modelo desenvolvido incide apenas sobre um corredor nuclear desta rede, que une o porto de Lisboa ao terminal de Forbach, junto à fronteira francesa, ignorando-se as ramificações existentes na cadeia real, nomeadamente as ligações aos portos de Sines e de Leixões, bem como ao centro e sul de Espanha, obtendo-se a rede apresentada na Figura 12. Nesta rede simplificada são considerados 15 terminais rodoferroviários e 3 portos, tendo-se optado por unir os portos aos terminais mais próximos, bem como agregar os terminais fronteiriços (Quadro 1).

Dado que os fluxos de carga em cada sentido, i.e. movendo-se de Lisboa para Forbach ou de Forbach para Lisboa, não têm interacção entre si, à excepção da ocupação de capacidade disponível e dos equipamentos nos terminais, optou-se por analisar a cadeia considerando apenas o movimento da carga na direcção de Lisboa para Forbach. Com esta configuração, são contabilizadas 15 ligações rodoviárias, 12 ligações ferroviárias e 3 ligações marítimas, tal como apresentado no Quadro 2. Convém notar que, embora a infraestrutura ferroviária permita estabelecer as mesmas ligações físicas que a rodoviária, para esta modalidade foram consideradas como ligações os serviços pré-estabelecidos de transporte de mercadorias entre terminais; resulta assim uma disparidade entre o número de ligações rodoviárias e ferroviárias.

Quadro 1 - Lista de terminais e portos na cadeia de transporte

Nº	Nome	Nº	Nome	Nº	Nome
1	(Porto de) Lisboa	6	(Porto de) Bilbao	11	Tours
2	Entroncamento	7	Miranda Ebro	12	(Porto de) Le Havre
3	Pampilhosa	8	Irún – Hendaye	13	Paris
4	Vilar Formoso – Fuentes de Oñoro	9	Bayonne	14	Metz
5	Burgos	10	Bordeaux	15	Forbach

Quadro 2 - Lista de ligações servidas por cada modo de transporte

Modo	O - D	Ligação	O-D	Ligação
Rodoviário	1-2	Lisboa – Entroncamento	8-9	Hendaye – Bayonne
	2-3	Entroncamento – Pampilhosa	9-10	Bayonne – Bordeaux
	3-4	Pampilhosa – Vilar Formoso	10-11	Bordeaux – Tours
	4-5	Fuentes de Oñoro – Burgos	11-13	Tours – Paris
	5-7	Burgos – Miranda Ebro	12-13	Le Havre – Paris
	6-7	Bilbao – Miranda Ebro	13-14	Paris – Metz
	7-6	Miranda Ebro – Bilbao	14-15	Metz – Forbach
	7-8	Miranda Ebro – Irún		
Ferroviário	1-2	Lisboa – Entroncamento	7-6	Miranda Ebro – Bilbao
	2-3	Entroncamento – Pampilhosa	7-8	Miranda Ebro – Irún
	3-4	Pampilhosa – Vilar Formoso	8-13	Hendaye – Paris
	4-8	Fuentes de Oñoro – Irún	8-15	Hendaye – Forbach
	5-8	Burgos – Irún	9-15	Bayonne – Forbach
	6-7	Bilbao – Miranda Ebro	12-14	Le Havre – Metz
Marítimo	1-6	Lisboa – Bilbao	6-12	Bilbao – Le Havre
	1-12	Lisboa – Le Havre		

Embora o fluxo de mercadorias possa ser feito entre quaisquer dois terminais da cadeia de transporte (podendo estes, então, ser simultaneamente a origem e o destino de encomendas distintas), estabeleceu-se, para efeitos de diminuição da complexidade do modelo e estando em concordância com a simplificação anteriormente mencionada (a consideração dos fluxos apenas numa direcção), que cada terminal apenas poderia ser a origem ou o destino das encomendas geradas. Assim, as encomendas poderão ser geradas nos terminais 1 a 8, e destinadas aos terminais 9 a 15; corresponde isto, na prática, a simular o transporte internacional de mercadorias geradas, ou introduzidas na cadeia, na Península Ibérica, e destinadas à França e Alemanha.

3.3 Agentes, Parâmetros de caracterização e Variáveis associadas

Na presente secção, são discutidos os agentes que operam na cadeia de transporte, apresentando-se os parâmetros relevantes para a sua caracterização, bem como os parâmetros e variáveis que condicionam as operações desempenhadas e/ou a sua interacção com os restantes agentes.

3.3.1.1 ENCOMENDA

O agente Encomenda representa, não apenas o objecto a ser transportado, mas também o próprio pedido/solicitação do transporte, reflectindo as preferências e requisitos do cliente. Como tal, possui um conjunto de parâmetros caracterizantes da carga a transportar e um conjunto de variáveis que irão, por um lado, guiar o seu transporte desde a origem até ao destino e, por outro, permitir avaliar o grau de sucesso do transporte efectuado (Quadro 3). É de referir que, por motivos de simplificação, se considera que todas as encomendas geradas possuem uma tipologia de carga genérica.

Quadro 3 - Atributos da Encomenda

Tipo	Função	Nome
Parâmetro	Dimensão da encomenda	Peso
	Janela de transporte	TMC recolha TMT entrega
	Trajecto	Origem Destino
Variável	Itinerário atribuído	Itinerário inicial Itinerário real
		Data de entrega estimada Data de entrega real
	Avaliação do desempenho	Lista de atrasos
		Avaliação do preço do transporte

Peso Medida de quantificação da dimensão de cada encomenda.

Tempo Mais Ceddo de recolha Momento a partir do qual se pode proceder ao início do processo de transporte. Poderá coincidir com o momento em que o pedido é efectuado, ou poderá ser um instante mais distante no tempo.

Tempo Mais Tarde de Entrega Corresponde ao prazo final de entrega estabelecido pelo cliente, momento no qual o transporte deverá estar concluído.

Origem Corresponde ao terminal de onde a carga é originária.

Destino Destino final do processo de transporte.

Itinerário inicial Corresponde ao itinerário inicialmente seleccionado durante o processo de planeamento do transporte.

Itinerário real Corresponde ao itinerário efectivamente executado. No caso de se tratar de um operador intermodal, ou de o operador sincromodal não efectuar alterações, este corresponderá ao itinerário inicial; caso sejam feitas alterações ao itinerário durante o transporte, este será actualizado de acordo com as decisões tomadas.

Data de Entrega Estimada Momento de entrega previsto no momento da atribuição do itinerário.

Data de Entrega Real Momento de entrega obtido após a simulação do transporte ao longo da rede.

Lista de Atrasos Registo das discrepâncias entre os tempos previstos para o transporte e os tempos efectivamente realizados, para o movimento entre cada par de terminais.

Preço Estimado Preço de transporte estabelecido aquando da solicitação do serviço de transporte.

Preço Real Preço final, considerando os modos efectivamente utilizados.

3.3.1.2 OPERADOR LOGÍSTICO

O Operador é o agente que recebe o pedido de transporte do cliente, com ele negocia a solução de transporte mais adequada aos seus interesses e, posteriormente se encarrega de organizar o transporte da carga até ao destino, gerindo os recursos disponíveis e tomando as decisões de acordo com o conceito de transporte que representa (intermodalidade, ou sincromodalidade).

Para efeitos de simplificação do modelo, suprime-se o agente “transitário”, assumindo-se que o operador desempenha a função de ambos os agentes e que o cliente (encomenda) comunica directamente com o operador. Embora no sistema intermodal as funções descritas sejam desempenhadas pelo transitário (sendo que não existe um gestor da cadeia de transporte, apenas serviços de transporte, clientes e transitários), já no sistema sincromodal existe uma diferenciação entre as funções do gestor da rede (que é quem “governa” o sistema) e o transitário (que serve de intermediário entre o cliente e o gestor). Neste sentido, o operador logístico está a assumir as funções destes dois agentes, i.e., as funções de organização do transporte das encomendas, bem como da gestão dos recursos disponíveis.

Tendo em consideração que o agente Operador constitui um elemento “intelectual” da cadeia de transporte, na medida em que a sua interacção com os restantes agentes é baseada na comunicação entre estes, não foram estabelecidos parâmetros que o caracterizem fisicamente na cadeia de transporte. Foram, no entanto, estabelecidas variáveis que permitem o armazenamento da informação das condições do sistema, apresentadas no Quadro 4.

Quadro 4 - Atributos do Operador Logístico

Tipo	Função	Nome	
Variável	Registo de encomendas	Registo	
	Registo de itinerários	Lista de Itinerários	
	Registo dos serviços regulares	Lista de Serviços Ferroviários	
		Lista de Serviços Marítimos	

Registo Corresponde ao registo das encomendas que existem no sistema, contendo as propriedades da encomenda, bem como a sua prioridade no processo de transporte (descrita na Secção 3.5.3.5.1) e a sua localização actual na rede. É a partir deste registo que o operador toma conhecimento de todas as encomendas existentes no sistema e do respectivo estado – não planeadas, planeadas, ou afectadas por distúrbios – , sendo também sobre este registo que efectua as alterações ao planeamento do transporte. O operador mantém o registo de cada encomenda, desde o momento em que é feito o pedido de transporte, até à sua entrega final.

Lista de Itinerários Como forma de agilizar o processo de selecção de itinerários, o operador dispõe de uma lista de todas as combinações de modos possíveis para cada par origem-destino de

terminais. Será a partir desta lista que o operador irá seleccionar o conjunto de soluções existentes para as especificações de cada encomenda, e então averiguar qual a mais indicada, tendo em conta a janela de transporte e as capacidades disponíveis em cada serviço.

Lista de Serviços Ferroviários/Marítimos O registo dos horários dos serviços ferroviários e marítimos permitirá ao operador averiguar quais os que estabelecem as ligações pretendidas para o transporte de cada encomenda, bem como quais serão exequíveis dentro da janela de transporte.

É de notar que a diferenciação entre o operador intermodal e o sincromodal não é descrita pelas variáveis anteriormente discutidas; de facto, a aplicação das diferenças entre ambos os conceitos está, não nas características intrínsecas do agente, mas sim na forma como este procede ao planeamento durante o funcionamento da rede, tal como descrito anteriormente.

3.3.1.3 TERMINAL

O agente Terminal constitui o elemento da cadeia de transporte onde são fisicamente implementadas as decisões de transporte tomadas pelo operador; é através deste agente que as encomendas são recebidas no sistema, bem como processadas e alocadas ao serviço de transporte seleccionado. Tal como anteriormente referido, na cadeia de transporte em estudo existem 15 terminais, sendo cada um caracterizado pelos parâmetros listados no Quadro 5.

Quadro 5 - Atributos do Terminal

Tipo	Função	Nome
Parâmetro	Identificação do terminal na rede	ID
	Localização do terminal na rede	Localização Terminais conectados
	Horário de funcionamento	Hora de abertura Hora de fecho
	Desempenho/Produtividade	Duração das operações

ID Identificação do terminal.

Localização Localização do terminal na rede.

Terminais conectados Terminais a este ligados por corredores multimodais.

Duração das operações Medida de avaliação do tempo de processamento das encomendas, em termos de tempo que cada encomenda demora a ser processada.

Horário de Funcionamento Cada terminal é caracterizado por uma hora de abertura e uma hora de fecho, sendo que encomendas que cheguem ao terminal só serão processadas, i.e. encaminhadas para a próxima fase do transporte, durante o período de funcionamento do terminal em questão.

3.3.1.4 TRANSPORTE RODOVIÁRIO

O transporte rodoviário constitui o processo de transporte entre terminais com recurso ao modo rodoviário, contemplando as operações de recolha, movimentação e entrega da carga. Fisicamente, este processo é desempenhado na rede com recurso a um conjunto de camiões que partilham as características apresentadas no Quadro 6.

Capacidade máxima Peso máximo passível de ser transportado em cada camião.

Velocidade O movimento dos camiões ao longo da rede é caracterizado pela velocidade de circulação.

Preço Preço do transporte em € por ton*km.

Capacidade Disponível Para avaliar a possibilidade de incluir determinada encomenda num camião previamente carregado.

Quadro 6 - Atributos do Transporte Rodoviário

Tipo	Função	Nome
Parâmetro	Capacidade do veículo	Peso máximo
	Serviço de transporte	Velocidade
	Preço de transporte	Preço
Variável	Capacidade disponível	Peso disponível

3.3.1.5 TRANSPORTE FERROVIÁRIO

O transporte ferroviário constitui o processo de transporte entre terminais com recurso ao modo ferroviário, contemplando as operações de recolha, movimentação e entrega da carga; assume-se que este agente já possui serviços pré-estabelecidos, sendo cada um desempenhado por comboios caracterizados pelos parâmetros apresentados no Quadro 7.

Quadro 7 - Atributos do Transporte Ferroviário

Tipo	Função	Nome
Parâmetro	Capacidade do veículo	Peso máximo
	Preço de transporte	Preço
	Serviço de transporte	Horário de início Itinerário Tempos de transporte
Variável	Capacidade disponível	Peso disponível

Capacidade máxima Peso máximo passível de ser transportado em cada comboio.

Preço Preço do transporte em € por ton*km.

Horário de início Momento em que o serviço é iniciado, no terminal de origem.

Itinerário Compreende o terminal de origem, os intermédios e o final.

Tempo de transporte No caso do transporte ferroviário, dado que o horário já está estipulado uma hora de partida e uma hora de chegada para cada troço (e não esquecendo que, em todo o rigor, a velocidade não será constante tanto ao longo da ligação entre dois terminais – devido, nomeadamente, às limitações da própria infraestrutura – como entre as várias ligações existentes na rede) fará mais sentido que, ao invés de estabelecer uma velocidade para o movimento do comboio, seja fornecido um tempo de transporte para cada ligação.

Capacidade Disponível Para avaliar a possibilidade de incluir determinada encomenda num comboio previamente carregado.

3.3.1.6 TRANSPORTE MARÍTIMO

O transporte marítimo constitui o processo de transporte entre os portos existentes na rede de terminais, contemplando as operações de recolha, movimentação e entrega da carga; à semelhança

do transporte ferroviário, são considerados serviços calendarizados, sendo os navios caracterizados pelos parâmetros listados no Quadro 8.

Quadro 8 - Atributos do Transporte Marítimo

Tipo	Função	Nome
Parâmetro	Capacidade do veículo	Peso máximo
	Serviço de transporte	Horário de início Itinerário Velocidade
	Preço de transporte	Preço
Variável	Capacidade disponível	Peso disponível

Capacidade máxima Peso máximo passível de ser transportado no navio.

Horário de início Momento em que o serviço é iniciado, no terminal de origem.

Itinerário Compreende o terminal de origem e de destino.

Velocidade Ao contrário do que ocorre para o serviço ferroviário, e considerando a maior volatilidade das condições de navegação (que poderá não permitir o estabelecimento de uma hora de chegada), o movimento dos navios é caracterizado pela velocidade de circulação.

Preço Preço do transporte em € por ton*km.

Capacidade Disponível Para avaliar a possibilidade de incluir determinada encomenda num navio previamente carregado.

3.4 Organização Conceptual da Cadeia de Transporte

Após a enumeração e caracterização dos diversos agentes que actuam na cadeia de transporte, pretende-se, na presente secção, descrever o papel que cada um destes desempenha no funcionamento da rede, bem como ilustrar as interacções físicas e lógicas/de informação que ocorrem durante o processo de transporte e a forma como estas poderão afectar as operações efectuadas por cada agente.

3.4.1 PROCESSO DE TRANSPORTE

A Figura 13 traduz a representação gráfica da interação entre agentes no processo anteriormente descrito. É possível observar que o fluxo físico, i.e., o manuseamento da carga, só se estabelece entre o cliente (Encomenda) e os agentes nos terminais e de transporte, sendo que o operador logístico apenas interage com as restantes entidades através do fluxo lógico.

O fluxo lógico é constituído pela troca de informações entre agentes, que veicula as decisões tomadas, bem como as alterações percebidas no funcionamento do sistema, permitindo a gestão das entidades e recursos que neste actuam. Este inicia-se com a chegada de cada encomenda, avisando o operador da sua existência, sendo que este efectua o planeamento do seu itinerário e devolve a mensagem, sinalizando o início do processo de transporte. Durante percurso da encomenda, desde a sua origem até ao destino, existe uma contínua troca de informação entre a encomenda e o terminal (que lê o itinerário atribuído à primeira), bem como entre a encomenda e o operador (com a entrada de novas encomendas) e entre o operador e o

serviço de transporte (que o notifica da ocorrência de atrasos, cancelamentos, ou da impossibilidade da recolha de encomendas no terminal).

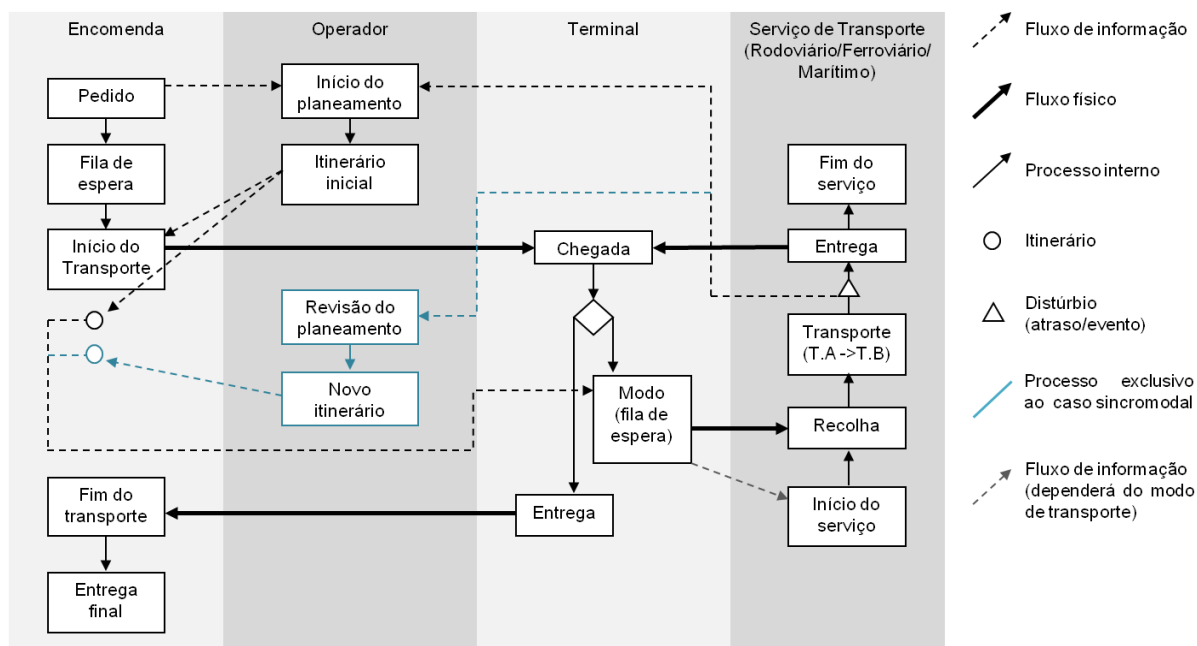


Figura 13 – Esquematização dos fluxos físico e de informação durante o processo de transporte

Convém notar que, embora o operador intermodal receba a notificação aquando da ocorrência de distúrbios, este pode apenas utilizar a informação na alocação de novas encomendas, sendo incapaz de alterar os itinerários previamente atribuídos. Assim, o processo de revisão dos itinerários na ocorrência de distúrbios é exclusivo ao operador sincromodal.

É de referir, também, que o início do serviço de transporte poderá ser sinalizado, ou não, pelo fluxo de informação. No caso do transporte rodoviário, assume-se que, dada a maior disponibilidade de transportadoras e flexibilidade desta modalidade, existem sempre recursos disponíveis junto aos terminais rodoferrovários. Assim, o serviço só será criado quando tal seja necessário, sendo a entidade criada no terminal apenas quando a carga a transportar for colocada na fila de espera correspondente. No caso dos transportes ferroviário e marítimo, por outro lado, assume-se que existe um serviço regular já estabelecido, tendo o serviço início no local de origem e no momento definidos pela calendarização do mesmo.

3.4.1.1 OPERAÇÕES INTERNAS DOS AGENTES

3.4.1.1.1 Encomenda

Tal como ilustrado na Figura 14, quando a encomenda é gerada, é enviada uma mensagem para o operador da rede com os dados do pedido de transporte, sendo então a primeira encaminhada para uma fila de espera, enquanto o planeamento do itinerário é executado. Após a recepção do itinerário, a encomenda é então enviada para o terminal de origem. Ao atingir o terminal de destino, a encomenda abandona o terminal, é assinalada a data de entrega e a encomenda é eliminada do sistema.

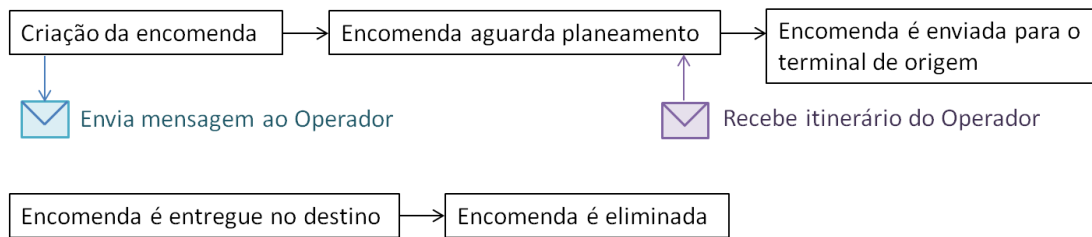


Figura 14 – Operações de Geração e Eliminação da Encomenda

3.4.1.1.2 Operador Intermodal

Aquando da chegada da mensagem de geração da encomenda, o operador intermodal inicia a recepção das encomendas, que consiste no registo de todas as novas encomendas. Num determinado momento (p.ex., ao final do dia), faz-se o planeamento dos itinerários das encomendas até então registadas, sendo que, estando finalizada a alocação aos serviços (e enviados os itinerários para as encomendas), o operador retorna ao seu estado inicial, aguardando a geração de novas encomendas.

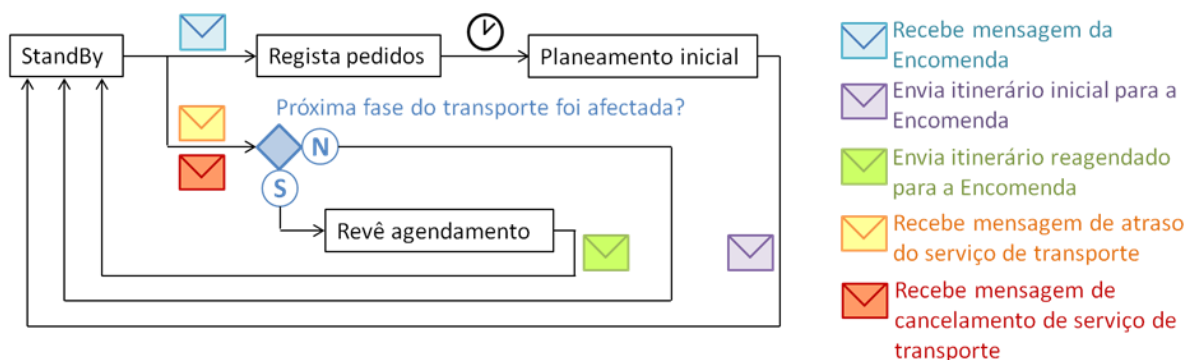


Figura 15 – Lógica de Decisão do Operador Intermodal

Como se pode observar na Figura 15, caso se verifique a ocorrência de distúrbios durante o transporte, executa um ciclo de replaneamento, no qual são identificadas as encomendas afectadas por esse evento, seja ele o atraso ou cancelamento de serviços ou a ausência de encomendas no terminal no momento em que o serviço está a efectuar a recolha, e é feito um reagendamento do transporte, alterando as reservas de capacidade para serviços a realizar posteriormente.

3.4.1.1.3 Operador Sincromodal

A acção do operador sincromodal é composta por dois ciclos distintos: um primeiro de atribuição de itinerários, e um segundo de revisão do planeamento prévio, tal como é ilustrado na Figura 16.

O ciclo de atribuição de itinerário é semelhante ao ciclo anteriormente descrito para o operador intermodal. O segundo ciclo consiste na revisão dos itinerários anteriormente atribuídos, na sequência de alterações detectadas das condições no sistema. Este ciclo pode ser despoletado por dois acontecimentos distintos: na ocorrência de atrasos (ou adiantamentos) durante o transporte, a discrepância entre o tempo de trânsito praticado e o previsto poderá justificar (ou até implicar) a alteração do itinerário; na ocorrência de eventos que impossibilitem a realização do transporte, sejam estes o cancelamento dos serviços ou a impossibilidade de recolher a carga no terminal, todas as encomendas afectadas terão de ser redireccionadas para serviços alternativos. No final deste ciclo é produzido um novo itinerário para todas as encomendas afectadas, voltando o agente para o seu estado inicial.

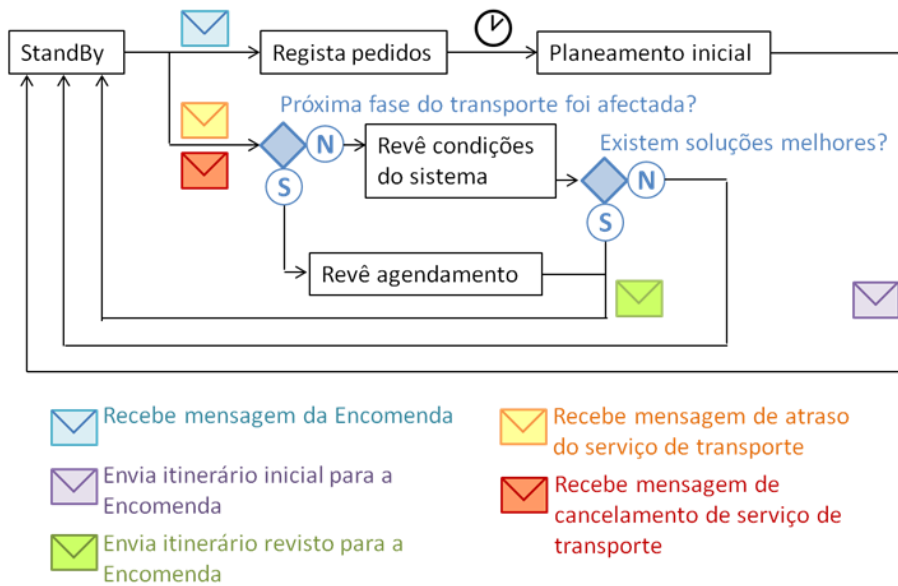


Figura 16 – Lógica de Decisão do Operador Sincromodal

3.4.1.1.4 Terminal

O funcionamento dos terminais é caracterizado por um estado de actividade, durante o qual são efectuadas as operações de carga, descarga e transbordo, que é despoletado pela hora de abertura do mesmo. Atingida a hora de fecho, o agente regressa ao seu estado inicial, de inactividade, tal como ilustra a Figura 17.

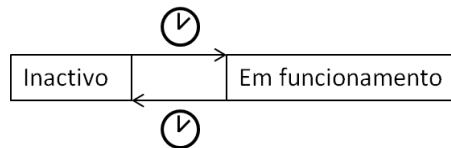


Figura 17 – Ciclo de alteração entre estados do Terminal

Como representado na Figura 18, na chegada de cada encomenda ao terminal, é efectuada a verificação do seu estado: se esta tiver atingido o seu destino, é retirada do terminal; caso contrário, é encaminhada para as operações de transbordo. Durante esta fase, o agente terminal lê a informação relativa ao itinerário da encomenda em causa, encaminhando-a para a fila de espera do serviço a que foi alocada para a próxima fase do transporte.

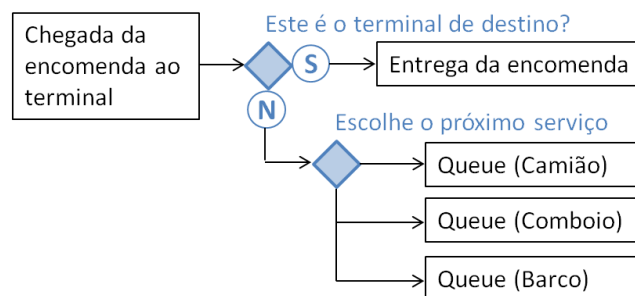


Figura 18 – Lógica de Decisão de encaminhamento das encomendas no Terminal

3.4.1.1.5 Transporte Rodoviário

O transporte rodoviário é gerado quando existe procura (i.e., existem encomendas atribuídas), sendo o agente criado junto ao terminal apenas quando a fila de espera contiver entidades. Após a recolha da carga em espera, é efectuado o transporte até ao terminal seguinte e a entrega da carga neste

último, sendo o serviço então terminado. Tal como ilustra a Figura 19, durante a fase de transporte entre terminais, poderão ocorrer atrasos, havendo o consequente envio de uma notificação ao operador.

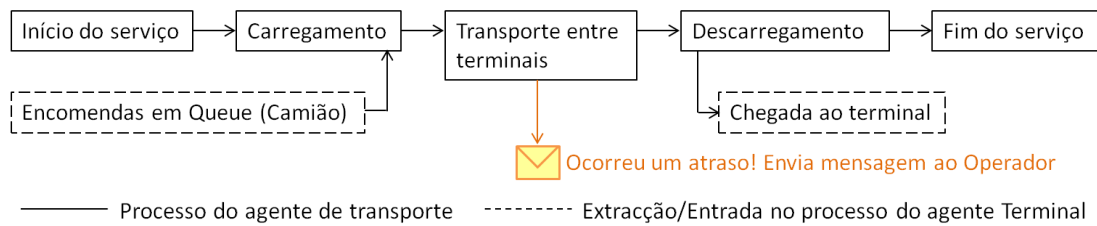


Figura 19 – Operações de transporte da carga desempenhadas pelo modo Rodoviário

3.4.1.1.6 Transporte Ferroviário

O transporte ferroviário é gerado de acordo com a calendarização dos serviços, sendo os agentes criados no momento e local de origem estabelecidos. Recolhendo a carga a si alocada no terminal de origem, é efectuado o transporte até ao terminal seguinte (do itinerário do serviço) onde é feita a entrega das encomendas que tenham como destino o terminal em causa, ou nele devem efectuar o transbordo. Após a descarga, verifica-se se o serviço já alcançou o seu destino final, o que provoca a o seu término, ou se, por oposição, existem mais terminais a percorrer, o que cria um novo ciclo no processo de transporte, tal como apresentado na Figura 20.

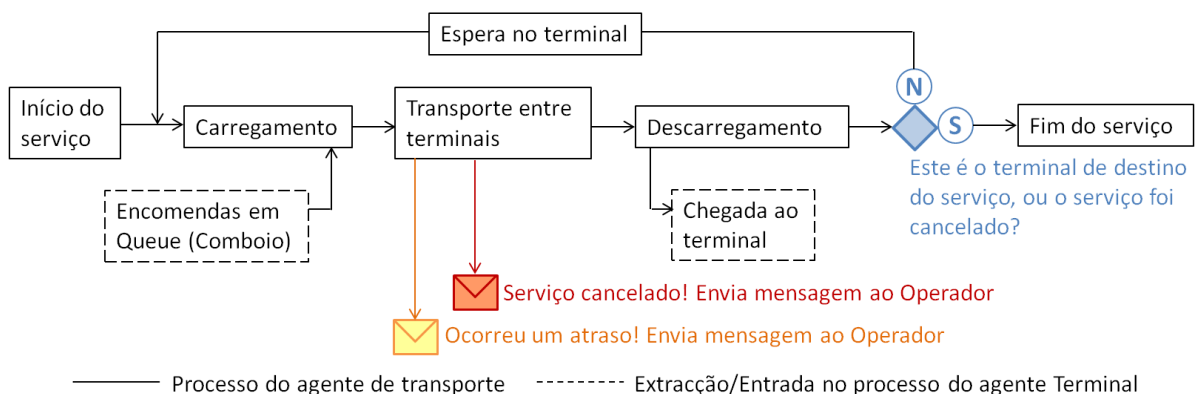


Figura 20 – Operações de transporte da carga desempenhadas pelo modo Ferroviário

Durante o transporte entre terminais, poderão ocorrer atrasos ou cancelamentos do serviço, sendo então o operador notificado da natureza do distúrbio.

3.4.1.1.7 Transporte Marítimo

À semelhança do que ocorre para o transporte ferroviário, o transporte marítimo é gerado no meento e local de origem estipulados pelo horário dos serviços. Após a recolha da carga em espera, é efectuado o transporte até ao terminal seguinte e a entrega da carga neste último, sendo o serviço então terminado. Durante o transporte entre terminais, poderão ocorrer atrasos cujo impacto no processo do transporte marítimo é idêntico ao descrito para o transporte rodoviário.

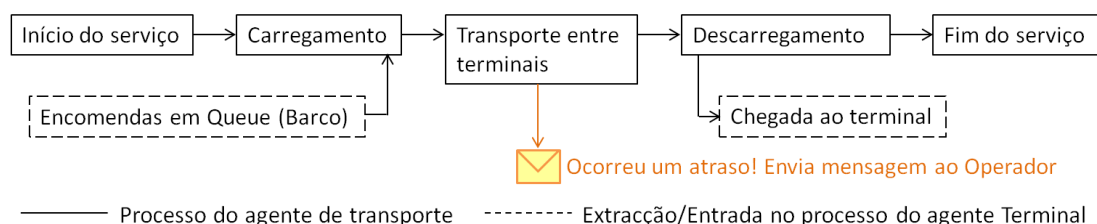


Figura 21 – Operações de transporte da carga desempenhadas pelo modo Marítimo

3.4.1.2 FLUXO DE INFORMAÇÃO

Tal como descrito na Secção 3.4.1, o fluxo de informação é composto por uma contínua troca de informação entre todos os agentes envolvidos no processo de transporte de uma determinada encomenda. Esta troca de informação é constituída por um conjunto de mensagens, enumeradas ao longo da descrição do processo físico do transporte.

3.5 Desenvolvimento do Modelo

O modelo a desenvolver pretende simular o funcionamento de uma cadeia de transporte sujeita à acção de operadores logísticos com diferentes conceitos/filosofias de organização/gestão do transporte. No final da simulação, espera-se obter uma medida de comparação/avaliação dos resultados obtidos para cada um dos operadores logísticos, de modo a poder identificar os benefícios e desvantagens de cada conceito, por oposição ao outro, e verificar a existência de potencialidades da solução sincromodal como alternativa viável à solução intermodal, bem como o grau/nível de impacto que estas terão no sistema.

Na presente secção é descrita a estrutura do modelo, detalhando o vários constituintes e parâmetros utilizados, bem como as lógicas desenvolvidas para aproximar, no âmbito da simulação, com a maior fidelidade possível o comportamento do sistema do mundo real.

3.5.1 OBJECTIVO

O objectivo do modelo desenvolvido é a comparação do desempenho dos conceitos de intermodalidade e sincromodalidade através da sua aplicação na gestão de uma mesma cadeia de transporte, pretendendo-se com esta análise aferir a existência, ou ausência, de potenciais vantagens ou melhorias no desempenho da cadeia de transporte como resultado da aplicação da gestão sincromodal.

Para tal, será feita a simulação do funcionamento da rede de acordo com diferentes cenários, cada um replicando os processos de tomada de decisão segundo cada conceito de transporte, estando a base de comparação entre estes na recolha de indicadores temporais e monetários.

Para que a simulação do comportamento do sistema seja considerada uma representação fiel da realidade, traduzindo todos os comportamentos relevantes para a caracterização da temática em causa, nomeadamente na reprodução das operações e decisões de transporte, o modelo a desenvolver deverá ser capaz de:

- representar o movimento de cargas ao longo da cadeia de transporte
- simular as diversas operações efectuadas durante o transporte
- considerar a ocorrência de imprevistos, tais como atrasos ou cancelamento de serviços
- representar o funcionamento da cadeia ao longo de consideráveis períodos de tempo
- simular a chegada e entrega de encomendas durante o período de simulação
- apresentar-se de forma legível, permitindo a análise por parte de quem não esteja familiarizado com a programação do modelo
- estabelecer uma representação realista da cadeia de transporte em estudo

- fazer a monitorização de um conjunto de indicadores para a análise do desempenho das soluções de transporte

3.5.2 ARQUITECTURA DO MODELO

Dado o objectivo de simular, por um lado, o processo físico do transporte da carga ao longo da cadeia de transporte e, por outro, o processo lógico da tomada de decisão entre várias soluções de transporte, o modelo apresenta diferentes níveis *layers* de funcionamento do sistema, cada uma replicando os processos desempenhados por cada agente (tal como descrito na Secção 3.4.1.1) e reflectindo o nível de acção de cada um no desempenho da rede de transporte, tal como ilustrado na Figura 22. O processo físico, i.e. a criação e movimentação da encomenda pela cadeia de transporte, é executado de acordo com o método dos eventos discretos, sendo que o fluxo de processos é realizado sobre cada um dos troços da cadeia de transporte, ao nível da representação gráfica da rede; por sua vez, o operador toma um conjunto de decisões, baseadas na produtividade do transporte, bem como nas encomendas existentes, que irão afectar a forma como a carga é processada nos terminais.

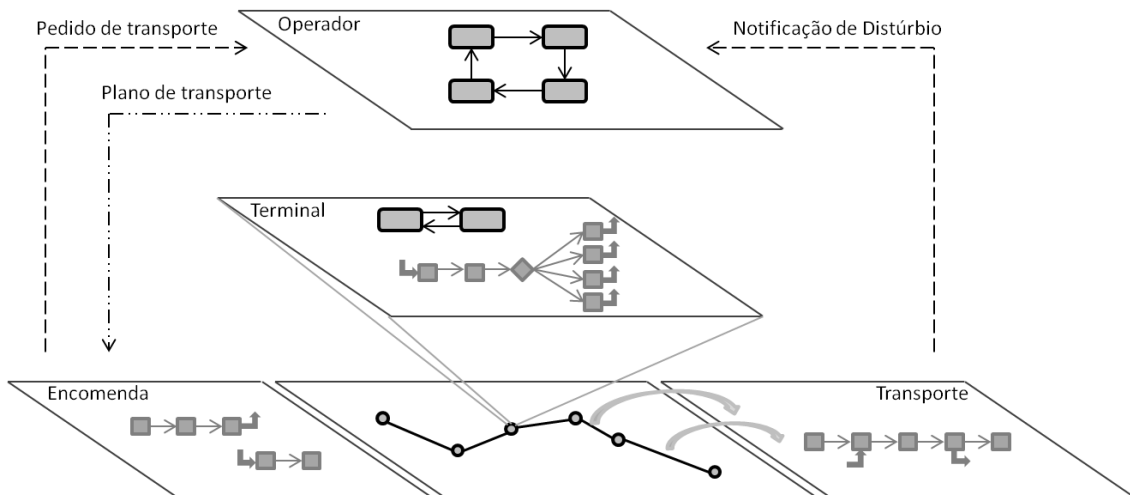


Figura 22 - Arquitectura do modelo

As encomendas são geradas, sendo-lhes atribuído um itinerário de transporte pelo operador; após a definição deste, são processadas no terminal, que as encaminha para o modo ao qual foram alocadas, e então transportadas para o terminal seguinte na cadeia de transporte, repetindo-se estes processos para cada troço da rede até ser alcançado o terminal de destino das encomendas. Consoante as especificações de novas encomendas geradas no sistema, ou a ocorrência de eventos com impacto no transporte planeado, o operador poderá alterar o planeamento nos troços seguintes, alocando-as a diferentes serviços ou, caso se trate do operador sincromodal, a um modo distinto.

3.5.3 ESTRUTURA DO MODELO

Tal como anteriormente referido, o modelo foi construído através da combinação de elementos dos método dos eventos discretos e da modelação por agentes.

Neste modelo existe então a encomenda que será a entidade, os modos de transporte que poderão considerar-se entidades-recurso (segundo o método dos Eventos Discretos, os recursos são usados pelo processo, neste caso têm um processo individual – com entidades próprias –, sendo que fazem

a transferência das entidades, as encomendas, entre os processos de terminais consecutivos..), e dois agentes: o terminal, que possui um processo interno, mas não é ele próprio uma entidade/recurso, e o operador. Os agentes interagem entre si num ambiente "concretizado" pelo objecto GIS (mapa), que contém a rede logística.

O funcionamento do modelo é o resultado de 4 módulos que actuam ao longo da simulação e estão associados aos comportamentos e processos individuais de cada agente: a **criação e extinção de encomendas** no modelo simula a chegada de um pedido de transporte, introduzindo o objecto que representa a encomenda no modelo, bem como elimina este objecto aquando da entrega no terminal de destino; o **transporte entre terminais**, composto pelos fluxos de processos associados a cada um dos modos de transporte, simula o movimentos dos veículos ao longo da cadeia de transporte, sendo que estes podem conter múltiplas encomendas; o **processamento no terminal** simula as operações de processamento da carga nos terminais, recebendo-as e encaminhando-as para a próxima fase do transporte; finalmente, o **planeamento e gestão da rede** replica o processo lógico de tomada de decisão entre possíveis soluções de transporte, bem como a revisão deste planeamento face a alterações nas condições do sistema.

Estabeleceu-se a hora como unidade de tempo da simulação, bem como o período de simulação de 1 ano, sendo que este se irá iniciar a 1 de Janeiro de 2016 às 00:00:00 e terminará a 1 de Janeiro de 2017 às 00:00:00.

3.5.3.1 AMBIENTE DE MODELAÇÃO

Tal como anteriormente referido, as diversas entidades do sistema existem, e desenvolvem as suas operações, num ambiente de modelação representado pela rede de transportes. No modelo, este ambiente corresponde ao mapa SIG (Sistemas de Informação Geográfica), apresentado na Figura 23, que contém a informação das localizações dos diversos terminais, bem como das rotas a percorrer pelos modos.

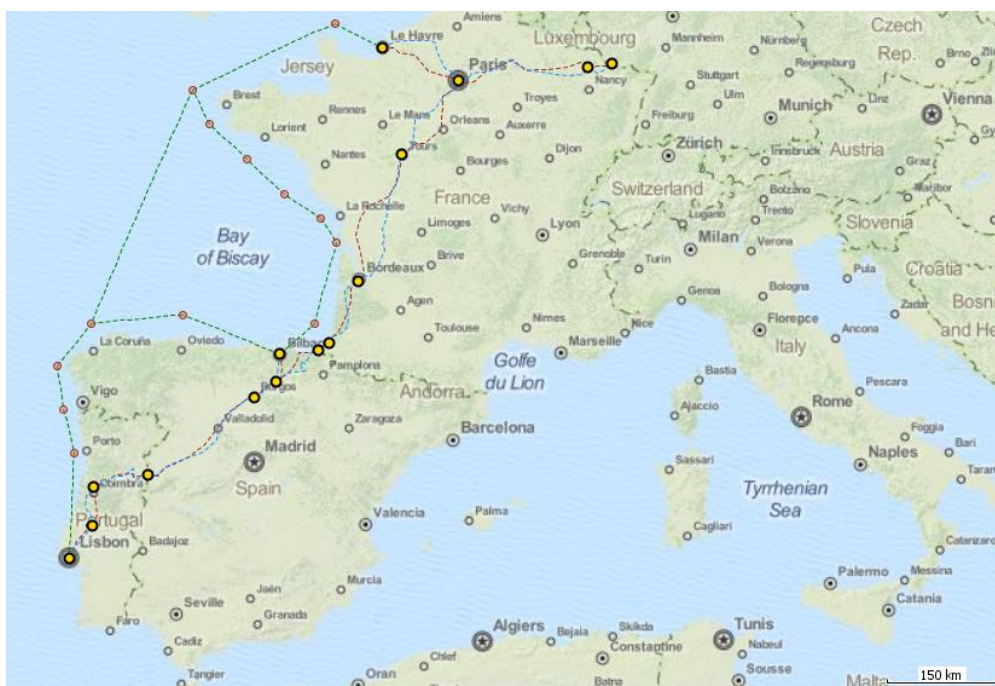


Figura 23 – Cadeia de Transporte modelada

O objecto SIG é um dos elementos disponibilizados pelo *software*, sendo que está recebe informação dos servidores da *Anylogic*. Esta propriedade permite a fácil definição de pontos no espaço e de trajectos entre estes, podendo o utilizador optar pela utilização dos dados geográficos disponibilizados, ou pela sobreposição no mapa de redes previamente definidas com recurso a outros instrumentos.

Convém notar que, dada a informação contida no objecto SIG, o movimento dos veículos neste espaço não implica necessariamente a estipulação de rotas pré-definidas, sendo que conhecendo apenas o local de origem e o de destino, a simulação tem capacidade de reconhecer a rede de infraestruturas correspondente ao modo e o veículo mover-se-á sobre esta. No entanto, a definição de um conjunto de rotas *à priori* é importante pois irá, por um lado, garantir que todos os veículos seguem o mesmo trajecto (evitando-se a existência percursos mais longos/curtos para o mesmo par origem destino), e, por outro, permitir a definição de distâncias concretas para o cálculo dos tempos de transporte previstos durante o planeamento da encomenda.

No presente modelo, as localizações dos terminais foram definidas com recurso ao dados disponibilizados, sendo as coordenadas geográficas dos pontos as sugeridas pelo *software*; analogamente, as rotas rodo e ferroviárias, foram definidas com base nas redes de estradas e ferrovias apresentados. Por sua vez, as rotas marítimas foram definidas manualmente pela autora.

3.5.3.2 CRIAÇÃO E EXTIÇÃO DE ENCOMENDAS

O módulo da criação e extinção de encomendas (Figura 24) é composto por dois fluxos de processos, que simulam a chegada de um pedido de transporte, criando a entidade correspondente a esta encomenda, e, após o transporte até ao destino final, a eliminação desta do modelo. Os fluxos são compostos por objectos de geração, de armazenamento, entrada e saída do fluxo de processos e de eliminação de entidades.

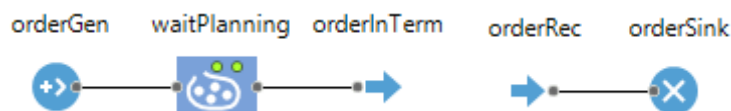


Figura 24 – Fluxo de processos do agente Encomenda (Order)

orderGen Simula a chegada de um novo pedido de transporte, enviando uma mensagem a notificar o operador deste pedido e criando no modelo a entidade e ele associada; para efeitos do modelo desenvolvido, estipulou-se que a geração de pedidos seria feita de acordo com uma função de distribuição Normal, de média 9 horas e desvio padrão 0,5 horas. Convém notar que, segundo a configuração do modelo, o momento de chegada do pedido poderá não corresponder à data de recolha da encomenda; de facto, no momento de geração da entidade são atribuídos valores aleatórios aos vários parâmetros da mesma, tal como ilustrado no Quadro 9.

waitPlanning Após a geração das encomendas, estas são armazenadas neste bloco, enquanto aguardam a entrada na cadeia de transporte; apenas quando se verificarem as condições da chegada da data de recolha e da atribuição de um itinerário à encomenda, é que a entidade é liberta do bloco.

orderInTerm Tendo chegado o momento da recolha na origem, o bloco identifica o terminal correspondente nas propriedades da entidade e envia-a para o bloco *arrivalToTerm* no processo interno deste último.

orderRec Recebe a entidade do bloco *orderDelivery* no terminal de destino e, simulando a entrega da encomenda ao cliente final, actualiza todas as variáveis referentes aos itinerários, tempos e custos realmente efectuados durante o transporte.

orderSink Extingue o objecto que representa a encomenda do modelo.

Quadro 9 - Parâmetros do agente Encomenda (Order)

Parâmetro	Função de atribuição de valor
Peso	$peso = uniform(30,300)$ <p>No âmbito da simulação, definiu-se que cada nova encomenda terá um peso entre 30 e 300 toneladas.</p>
TMC recolha	<p>O momento de recolha é definido no modelo em formato de data e hora, sendo a $data_{actual}$ a data e hora do sistema, no momento que o pedido foi gerado no bloco <i>orderGen</i>.</p> $dia_{recolha} = data_{actual} + uniform_discr(0,3) * dias$ <p>Assume-se que o pedido poderá ser feito na data de recolha, i.e. a carga é imediatamente disponibilizada para o transporte no momento em que o cliente contacta o operador, ou com até 3 dias (72 horas) de antecedência.</p> $data_{recolha} = \begin{cases} dia_{recolha}, \text{ às } 08:00 - \text{ se } hora_{actual} \in [00:00; 7:59] \\ dia_{recolha}, \text{ à } hora_{actual} - \text{ se } hora_{actual} \in [8:00; 17:00] \\ dia_{recolha} + 1, \text{ às } 08:00 - \text{ se } hora_{actual} \in [17:01; 23:59] \end{cases}$ <p>Estipulou-se que a recolha das encomendas poderá ser efectuada entre as 8h e as 17h, sendo que as datas de entrega referentes a pedidos gerados fora deste período serão ajustadas em conformidade.</p>
TMT entrega	$dia_{entrega} = data_{recolha} + uniform_discr(4,7) * dias$ <p>De modo a que o transporte da encomenda desde a origem até ao destino dentro da janela de transporte seja exequível, estipulou-se que o prazo de entrega deverá ser no mínimo 4 dias (96 horas) – tempo mínimo de transporte entre Lisboa e Forbach, no serviço ferroviário – após a recolha, e podendo estender-se até ao máximo de 1 semana.</p> $data_{entrega} = dia_{entrega}, \text{ às } 18:00$ <p>Definiu-se que a entrega das encomendas poderá ser feita até às 18h.</p>
Origem	$t_{origem} = uniform_discr(0,7)$ <p>O terminal de origem é escolhido aleatoriamente de entre a lista de origens possíveis.</p>
Destino	$t_{destino} = \begin{cases} uniform_discr(8,14) - \text{ se } t_{origem} = 0 \\ uniform_discr(8,14), \text{ excepto } 11 - \text{ se } t_{origem} \neq 0 \end{cases}$ <p>O terminal de destino é escolhido aleatoriamente de entre a lista de destinos possíveis, ressalvando-se que, dada a simplificação de a carga apenas se mover no sentido de Lisboa para Forbach, apenas as encomendas originadas em Lisboa poderão ter Le Havre como destino (sendo que não foram considerados serviços de transporte de Paris para Le Havre).</p>

3.5.3.3 TRANSPORTE ENTRE TERMINAIS

O módulo do transporte das encomendas entre os vários terminais consiste em três fluxos de processos (Figuras 25, 26 e 27), cada um correspondendo a um dos modos existentes na cadeia de transporte, que simulam a criação de veículos (ou serviços), o transporte das encomendas entre terminais e o fim do serviço. Cada um destes fluxos é composto por objectos de geração, de carga e descarga, de movimento e de eliminação de entidades. Uma vez que os modos rodoviário e marítimo efectuam apenas uma viagem, i.e. os serviços são terminados após o movimento entre terminais consecutivos, enquanto que o modo ferroviário pode efectuar várias paragens durante o serviço, este

último possui objectos adicionais de escolha de *output* e de introdução de atrasos (*delays*), podendo executar múltiplos ciclos no fluxo de processos.

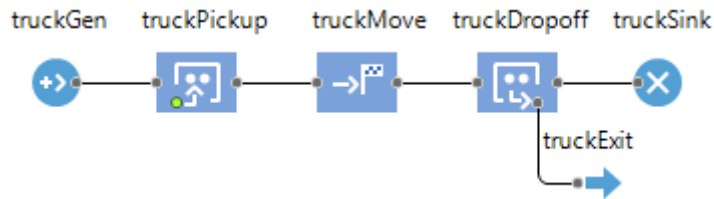


Figura 25 – Fluxo de processos do agente Transporte Rodoviário (Truck)

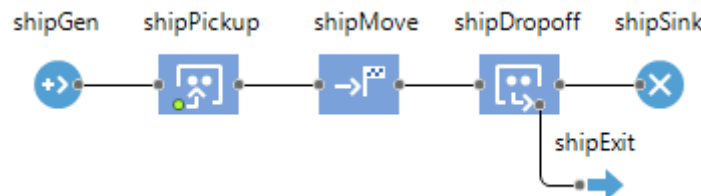


Figura 26 – Fluxo de processos do agente Transporte Marítimo (Ship)

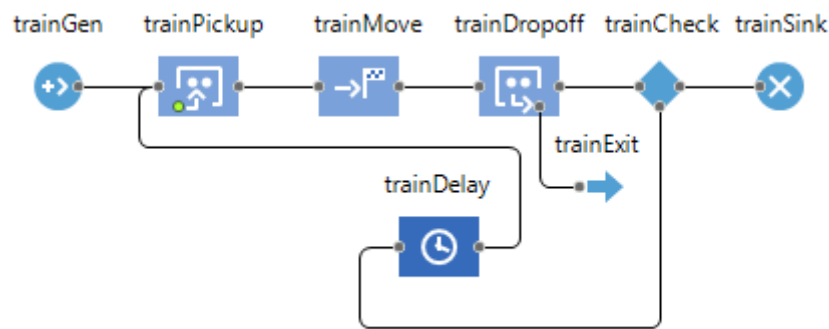


Figura 27 – Fluxo de processos do agente Transporte Ferroviário (Train)

-Gen Simula o início de um novo serviço de transporte, gerando no modelo a entidade que representa o veículo que irá transportar a carga, sendo esta caracterizada pelos atributos presentes no Quadro 10; é de referir que é apresentada no Quadro A. 1 (Anexo 1) a formulação dos preços de transporte de cada modo. No presente modelo, considerou-se que os modos ferroviário e marítimo teriam serviços regulares, sendo a sua geração estipulada por um horário de chegadas: para o caso ferroviário, a geração de entidades no bloco *trainGen* ocorre de acordo com o horário apresentado no Quadro A. 3 (Anexo A1), definido com base nos canais horários definidos para 2016 (consultados em corridor4.eu); já no modo marítimo, estipulou-se que haveria um navio diário para cada ligação, tendo-se arbitrado o horário apresentado no Quadro A. 2 (Anexo A1). Por sua vez, o serviço rodoviário é considerado flexível, sendo os veículos gerados no bloco *truckGen*, não de acordo com horários pré-definidos, mas sim apenas quando existam encomendas em espera no terminal. No momento da criação, a entidade é enviada para o local do terminal de origem do serviço, determinado de acordo com o horário, ou com a posição da encomenda.

Quadro 10 - Parâmetros dos agentes de transporte

Modo	Peso máximo [ton]	Preço [€/ton*km]	Velocidade média [km/h]	Velocidade de circulação [km/h]
Rodoviário	45	0,038582	70	triangular(45,70,85)
Marítimo	7000	0,018732	37	triangular(15,37,50)
Ferrovário	1400	0,029194	-	-

-Pickup Este bloco transforma a entidade anteriormente criada num “contentor”, i.e. permite-lhe armazenar dentro de si outras entidades do modelo, e transportá-las durante as próximas fases do fluxo de processos. No modelo desenvolvido, o bloco efectua a recolha das encomendas que se encontrem alocadas ao serviço em causa e estejam em espera na fila de espera correspondente ao modo no terminal de origem do movimento. Em adição, caso se verifique a ausência de encomendas alocadas na fila de espera, podendo estas não ter alcançado devido a atrasos em operações anteriores, é a partir deste bloco que é enviada uma mensagem para o operador, notificando-o de que não foi possível recolher determinadas encomendas, sendo necessário reagendar o seu transporte.

-Move Simula o transporte da carga entre terminais, movendo o objecto que representa o veículo desde o local de origem da viagem até ao de destino, percorrendo a rota pré-definida na representação gráfica da rede. No caso dos modos rodoviário e marítimo, movimento é definido pela velocidade de trânsito, enquanto que no ferroviário este será definido pelo tempo de viagem, obtido de acordo com o horário pré-estabelecido. Considerando que na vida real a velocidade de trânsito não será constante ao longo de todo o trajecto, sofrendo flutuações devido às condições de circulação, a limitações da infraestrutura ou a congestionamento, por exemplo, passíveis de provocar atrasos, ou avanços, relativamente ao previsto, definiu-se no presente modelo as velocidades e tempos de transporte seguiriam funções de distribuição triangulares, em relação à velocidade média (Quadro 10) ou ao tempo médio de trânsito (Quadro A. 3).

-Dropoff Simulando a operação de descarga na chegada ao terminal, este bloco reverte o efeito do bloco *Pickup*, removendo as entidades do “contentor”. À semelhança do que ocorre no bloco *-Pickup*, é a partir deste bloco que o operador é notificado da ocorrência de distúrbios, sendo que é junto ao terminal que é verificado o cumprimento dos tempos esperados de transporte. Para efeitos do presente modelo, definiu-se que a mensagem de distúrbios seria enviada caso se verificasse um desvio, positivo ou negativo, igual ou superior a 10 min relativamente ao previsto durante o planeamento.

-Exit Simulando a entrega no terminal, retira a encomenda do processo do modo de transporte e envia-a para o bloco *arrivalToTerm* no processo do terminal de destino do movimento.

-Sink Extingue o objecto que representa o veículo, ou serviço, do modelo.

trainCheck Este bloco é de selecção, sendo que a entidade será enviada para o bloco *trainSink* ou para o bloco *trainDelay* consoante a verificação determinadas condições. O envio para o bloco *trainSink* simula o término do serviço, sendo este devido à chega ao destino final deste, ou ao cancelamento do mesmo devido a atrasos considerados inadmissíveis. Para efeitos da presente tese, considerou-se que o atraso seria inadmissível nas situações em que o momento de chegada ao terminal fosse após a partida prevista deste terminal para o próximo troço do serviço.

trainDelay Este bloco simula o tempo de paragem do comboio no terminal para operações de carga e descarga. Dado que os horários utilizados para a definição dos serviços não estipulam uma hora de chegada e de partida para todas as paragens, apresentando dois valores apenas nos terminais fronteiriços, e tendo em conta a possibilidade de existirem chegadas antecipadas ao terminal, estipulou-se que o valor deste *delay* seria o máx{15 minutos, $t_{partida} - t_{actual}$ }.

3.5.3.4 PROCESSAMENTO NO TERMINAL

O módulo de processamento no terminal apresenta-se como um híbrido entre o método dos eventos discretos e a modelação por agentes. Neste, o Terminal é considerado como um agente que alterna entre dois estados – activo e inactivo –, sendo que o estado actual do agente condiciona o fluxo de processos interno. Quando activo, as encomendas são recebidas no terminal e enviadas para o modo de transporte que irá fazer o transporte até ao terminal seguinte, ou para a fase final de entrega, caso tenham alcançado o seu destino. Este modo é então composto por um fluxo de processos (Figura 28) e um *statechart* (Figura 29), ou diagrama de estados: o fluxo de processos contém objectos de entrada e de saída do fluxo, filas de espera, *hold*, de introdução de atrasos (*delays*), e de selecção entre múltiplos *outputs*; o diagrama de estados contém um estado inicial de inactividade e outro de actividade, bem como as transições entre estes.

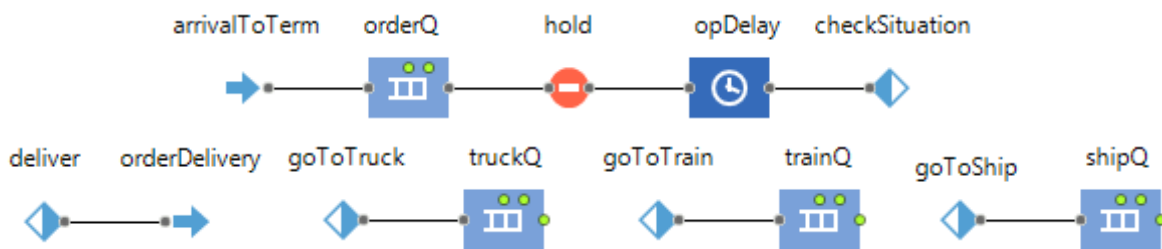


Figura 28 – Fluxo de processos do agente Terminal

arrivalToTerm Este bloco de entrada no fluxo de processos recebe a entidade que representa a encomenda, simulando a entrada desta no terminal e iniciando o seu processamento no mesmo.

orderQ Esta fila de espera armazena as encomendas por ordem de chegada (*regime First In First Out*), caso o bloco *hold* esteja activo. Se o bloco *hold* estiver inactivo, as entidades não são detidas na fila de espera.

hold Simula a inactividade no terminal durante o horário de fecho; caso este bloco esteja activo, nenhuma entidade pode avançar para as seguintes fases de processamento, sendo de notar que o processamento de encomendas que já tenham ultrapassado este bloco não será interrompido.

opDelay Este bloco representa as operações de carga e descarga, aplicando um atraso na evolução da entidade ao longo do processo. Este atraso é medido em minutos e definido por uma função de distribuição triangular(10, 15, 20), sendo que múltiplas encomendas poderão ser processadas em paralelo.

checkSituation Este bloco é de selecção, sendo que analisa as propriedades da entidade e a encaminha para o ramo do processo correspondente. Para tal, verifica o estado da encomenda, ou seja, se o terminal actual corresponde ao seu destino, ou se esta será transportada para o terminal seguinte e, caso a segunda situação se verifique, qual o modo que irá fazer este transporte.

goToTruck(/Train/Ship) Estes blocos correspondem às situações em que a encomenda será transportada para o terminal seguinte, sendo cada um referente a cada modo de transporte. Estes recebem a entidade do bloco *checkSituation* e encaminham-na para a fila de espera correspondente.

Truck(/Train/Ship)Q Estas filas de espera armazenam as encomendas enquanto as últimas aguardam que o serviço, ou veículo no caso do transporte rodoviário, efectue a recolha no terminal.

No caso do transporte rodoviário, é a entrada da entidade na fila de espera que irá gerar a criação de um novo veículo no modelo, sendo que este último parte imediatamente após a recolha do objecto.

deliver Este bloco corresponde à situação de chegada ao terminal de destino, recebendo a entidade do bloco *checkSituation* e encaminhando-a para a entrega.

orderDeliver Retira a encomenda do processo interno do terminal e envia-a para o bloco *orderRec* no processo referente aos pedidos de transporte.

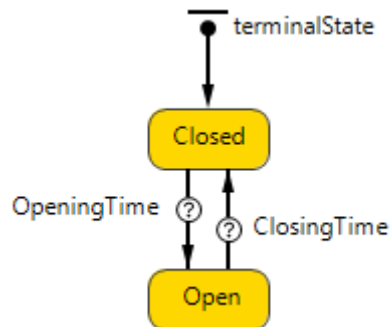


Figura 29 – Diagrama de Estados do agente Terminal

Closed No início da simulação, o terminal encontra-se num estado inicial de inactividade, simulando o horário de fecho deste, que bloqueia o bloco *hold* no fluxo de processos e impede que as encomendas presentes na fila de espera *orderQ* sejam libertas.

OpeningTime Chega a hora de abertura, o terminal passa do estado inactivo para o estado activo. Esta transferência entre estados é do tipo condicional, sendo que só ocorrerá quando se verificar que a hora do sistema corresponde à hora de abertura do terminal.

Open No estado activo do terminal o bloco *hold* do fluxo de processos é aberto, permitindo o processamento das encomendas armazenadas na fila de espera, e de outras que venham a surgir no terminal durante o horário de funcionamento.

ClosingTime À semelhança do que ocorre na transição *OpeningTime*, esta transição é activada quando se verificar a condição de a hora do sistema corresponder à hora de fecho, passando o terminal do estado activo para o estado inactivo.

De acordo com BG *et al.*(2016), os terminais estão em funcionamento 24h/dia, à excepção dos terminais de Bayonne, Bordeaux e Tours, que operam 16h/dia. Com base nesta informação, foram estabelecidos no modelo os horários de funcionamentos presentes no Quadro 11.

Quadro 11 - Horários de funcionamento dos vários terminais da cadeia de transporte

Terminal	Hora de Abertura	Hora de Fecho
Bayonne, Bordeaux, Tours	10:00	02:00
Restantes terminais	00:00	23:59

3.5.3.5 PLANEAMENTO E GESTÃO DA REDE

O módulo de planeamento e gestão do transporte de encomendas formula-se como um *statechart* que reflete o processo lógico de tomada de decisão na atribuição, e revisão, de itinerários aos pedidos de transporte. O statechart (Figura 30) é composto por um estado inicial de inactividade, de registo de encomendas, de planeamento de itinerários e de revisão do dos mesmos; bem como as transferências entre os diversos estados são desencadeadas por diferentes eventos: chegada de uma mensagem, *timeout*, ou condição.

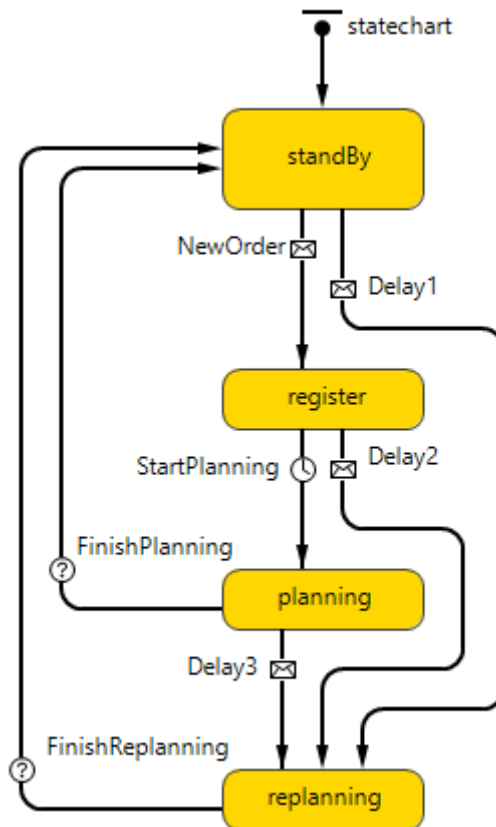


Figura 30 – Diagrama de Estados do agente Operador (Operator)

StandBy No início da simulação, e enquanto não existem encomendas com transporte por planear, o operador encontra-se inactivo.

NewOrder Aquando da geração de uma nova encomenda no bloco *orderGen* do fluxo, é enviada uma mensagem para o operador, notificando-o da existência de um novo pedido; com a chegada desta mensagem, o operador passa do estado de inactividade para o estado de recolha de pedidos.

Register No estado de recolha de pedidos, o operador não toma acção sobre o planeamento do transporte, limitando-se a inserir as novas encomendas no registo das encomendas existentes no sistema.

StartPlanning A transição do estado de registo para o de planeamento é desencadeada por um *timeout*, i.e. a transição é feita após a passagem de um determinado período de tempo desde a entrada no estado de registo, tendo-se definido no modelo desenvolvido que este período seria de 12 horas. A razão para a estipulação de um tempo de permanência no estado de registo, por oposição à imediata iniciação da fase de planeamento, é a necessidade de permitir a recolha de vários pedidos de transporte, que serão então planeados em conjunto quando terminar este período; a ausência desta fase de recolha implicaria que cada nova encomenda era planeada assim que era criada, não havendo a comparação com outras encomendas para avaliar prioridades no processo de planeamento, o que (atendendo ao facto de uma dada encomenda não ter necessariamente uma data de entrega anterior à de uma encomenda gerada posteriormente) poderia levar à impossibilidade de alocação de encomendas prioritárias em serviços que cumprissem a janela de transporte, devido ao facto de a capacidade destes estar saturada com encomendas de menor urgência geradas anteriormente.

Planning Quando no estado de planeamento de encomendas, o operador faz uma ordenação de todas as encomendas registadas de acordo com os critérios de prioridade descritos na Secção 3.5.3.5.1, procedendo então à escolha do melhor itinerário para cada uma das encomendas, tendo em conta os serviços e capacidades disponíveis. Os processos de ordenação das encomendas e de escolha de itinerários é detalhado na secção seguinte.

FinishPlanning (e FinishReplanning) Verificando-se a condição de o transporte todas as encomendas registadas estar planeado, o operador retorna ao estado inicial.

Delay1(2/3) Na ocorrência de um distúrbio, quer devido a atrasos ou cancelamentos por parte do serviço de transporte, quer devido a atrasos em operações anteriores, que provoquem a ausência das encomendas no terminal no momento de recolha de determinado serviço, é enviada uma mensagem ao operador notificando-o deste distúrbio. Independentemente do estado em que o operador se encontre, a mensagem de distúrbio provoca a imediata transição para o estado de revisão do planeamento.

Replanning No estado de revisão do planeamento, o operador ordena novamente todas as encomendas registadas, fazendo posteriormente o planeamento de encomendas não planeadas ou o replaneamento de encomendas afectadas pelo distúrbio. É neste bloco do modelo que se estabelece a diferenciação do comportamento dos operadores intermodal e sincromodal: o operador intermodal pode apenas reagendar os serviços reservados para as encomendas directamente afectadas pelo distúrbio, procurando de entre os serviços disponíveis aqueles que cumpram o prazo de entrega, ou, se tal não for possível, que minimizem o atraso, mas estando obrigado a cumprir o itinerário inicialmente proposto; por sua vez, o operador sincromodal é livre de alterar o agendamento de serviços ou o itinerário, não só das encomendas directamente afectadas pelo distúrbio, como também das restantes encomendas, podendo tomar partido de eventuais libertações de capacidade nos modos (resultantes do replaneamento de outras encomendas), que revelem soluções de transporte alternativas mais vantajosas, tanto em termos de custos, como de tempo.

3.5.3.5.1 Critérios de prioridade

Num sistema de transporte, a gestão e planeamento do transporte de encomendas deverá ter em conta a facilidade em mover a carga ao longo da rede, considerando os recursos e serviços disponíveis, bem como as especificações das próprias encomendas a transportar. Assim, as encomendas devem ser ordenadas, e o seu tratamento priorizado, de forma a traduzir a urgência com que esta deve ser planeada, ou o seu transporte controlado. Esta priorização entre encomendas deverá basear-se num conjunto de critérios que permitam a sua comparação relativamente à flexibilidade do transporte, nomeadamente: a data de recolha da encomenda; o prazo de entrega (ou tempo restante para concluir o transporte); a dimensão da encomenda; a frequência de serviços entre a origem e o destino; e a distância entre a origem e o destino.

No modelo desenvolvido, as regras de prioridade foram estabelecidas de acordo com os seguintes critérios:

1. Prazo de entrega: o objectivo-base do sistema é garantir que todas as encomendas alcançam o destino dentro do prazo estipulado, logo as encomendas com data de entrega anterior serão prioritárias.

2. Janela de Transporte: para encomendas com o mesmo prazo de entrega, as que tenham uma data de recolha mais próxima da data de entrega oferecem uma menor flexibilidade, logo deverão ser alocadas primeiro.
3. Dimensão: caso os critérios anteriores coincidam, considerou-se as encomendas de maior dimensão são mais difíceis de alocar, logo têm menores opções de transporte (assumindo que não há separação da carga); por outro lado, são as que mais beneficiam da maior capacidade do comboio, face ao camião, pelo que faz mais sentido que estas tenham precedência na alocação a estes modos.

3.5.3.5.2 Escolha de Itinerários

A escolha de itinerários é composta por 3 processos diferentes: o planeamento inicial, o replaneamento na ocorrência de distúrbios, sendo que existirão procedimentos diferentes caso se trate de um operador intermodal ou sincromodal, e a revisão do planeamento, exclusiva ao operador sincromodal.

Quando o operador entra no estado de planeamento, faz uma ordenação das encomendas de acordo com os critérios de prioridade anteriormente discutidos, e só então procede à escolha de itinerários para cada uma destas. É de notar que o planeamento é feito individualmente para cada encomenda, sendo estas analisadas sequencialmente e não em simultâneo. Percorrendo a lista de encomendas, o operador irá então executar a seguinte sequência de passos:

1. Verificação de que a encomenda não possui um itinerário atribuído.
2. Percorrendo a lista de itinerários possíveis, selecciona os que possuam a mesma origem e destino que a encomenda em causa, construindo uma lista de possíveis soluções de transporte.
3. Para cada solução de transporte:
 - a. Cria a sequência de pernas/troços a percorrer, com discretização do modo de transporte a empregar.
 - b. Para cada perna/troço do trajecto, analisada sequencialmente:
 - i. Calcula o preço do transporte, tendo por base o preço unitário de cada modo, o peso da encomenda e a distância a percorrer
 - ii. Calcula o tempo de início do transporte, tendo em atenção:
 - (1) O tempo de processamento no terminal, considerando-se um valor médio de 15 minutos.
 - (2) Caso o transporte seja feito por ferrovia ou por mar, é criada uma lista de todos os serviços por realizar desse modo, que executem aquele troço, assinalando o nome do serviço, a paragem no serviço, a hora de partida e o tempo de transporte .
 - (3) Esta lista é então ordenada pelo horário, de modo a que os serviços que se realizem mais cedo sejam analisados em primeiro lugar.
 - (4) É verificada a capacidade de transporte já reservada em cada um dos serviços, sendo escolhido o primeiro que ainda tenha disponibilidade para transportar a encomenda em causa.
 - (5) Na eventualidade de nenhum dos serviços na data prevista ter capacidade disponível suficiente para transportar a encomenda, são analisados os serviços para dias posteriores, procurando-se o primeiro que possa transportá-la.

- iii. Tendo o tempo de início do transporte definido, é calculado o tempo de finalização do mesmo, tendo por base a velocidade média de circulação (ou o tempo de transporte presente no horário).
 - c. Estabelece os tempos de início e de entrega, bem como o custo de transporte da solução de transporte.
4. Tendo a lista de soluções de transporte possíveis, bem como os respectivos tempos e custos de transporte, o operador verifica se é possível cumprir o prazo de entrega: se alguma das soluções prever a entrega dentro do prazo, todas as que não o cumpram são eliminadas da lista; caso contrário é imediatamente escolhida a que prever a entrega mais cedo.
 5. Sendo possível cumprir o prazo de entrega, as encomendas são ordenadas pelo custo de transporte, sendo seleccionada a que exibir o menor montante.
 6. Escolhido o itinerário, o operador faz a reserva dos serviços de transporte e actualiza os campos da encomenda referentes a: itinerário inicial e real, data de entrega estimada e custo estimado.

Quando o operador entra no estado de replaneamento, faz uma nova ordenação das encomendas de acordo com os critérios de prioridade, executando então as seguintes acções:

1. Tendo em conta que a passagem para o estado de replaneamento é passível de ter interrompido o processo de planeamento de novas encomendas no sistema, o operador procede, em primeiro lugar à reversão do planeamento de alguma encomenda cujo processo de planeamento não estivesse ainda concluído, apagando o itinerário atribuído e eventuais reservas de serviços efectuadas. Se se tratar do operador sincromodal, este pode, em adição, reverter o planeamento de encomendas cuja data de *pickup* ainda não tenha sido atingida, por forma a planeá-la de acordo com as novas condições no sistema.
2. Em seguida, o operador cancela as reservas das encomendas que tenham sido afectadas pelo distúrbio e que serão alvo de replaneamento.
3. Percorrendo a lista ordenada de encomendas, o operador irá efectuar o planeamento inicial de encomendas sem itinerário atribuído, seguindo os passos anteriormente referidos, e o replaneamento de encomendas afectadas.
 - a. Se se tratar do operador sincromodal, o processo de replaneamento é idêntico ao planeamento inicial, tendo em atenção que o trajecto a percorrer já não será a partir da origem, mas sim da localização actual da encomendas até ao destino. No final do replaneamento, o operador irá novamente reservar os serviços de transporte e actualizar o campo referente ao itinerário real.
 - b. Se se tratar do operador intermodal, o processo de replaneamento limitar-se à ao reagendamento dos serviços de transporte: estando o itinerário definido, o operador executará o ponto 3. do processo de planeamento inicial para esta solução de transporte e reservando os serviços de transporte correspondentes a partir da posição actual da encomenda.

O operador sincromodal tem ainda a possibilidade de rever o planeamento de encomendas que não tenham sido efectuadas por distúrbios, podendo tomar partido de novas oportunidades de transporte que tenham surgido (como por exemplo a libertação de capacidade em certos serviços em consequência do reagendamento, ou replaneamento, de outras encomendas). Assim, durante o processo de replaneamento, este operador irá executar os seguintes passos sobre encomendas que não necessitem de planeamento ou replaneamento:

1. Verifica que a encomenda não está actualmente em trânsito.
2. Selecciona o melhor itinerário a partir da posição actual da encomenda, repetindo os pontos 2 a 5 do planeamento inicial.
3. Verifica se o novo itinerário é mais vantajoso do que o actualmente atribuído: se o custo do novo itinerário for inferior, ou se o novo itinerário oferecer um menor tempo de transporte ao mesmo custo, justifica-se a alteração.
4. Caso a decisão seja a de alterar o itinerário, o operador procede então ao cancelamento das reservas anteriormente efectuadas, e reagenda os serviços de acordo com o novo itinerário, actualizando o campo da encomenda referente ao itinerário real.

3.5.4 AVALIAÇÃO DO SISTEMA INTERMODAL VS. SINCROMODAL

Na análise de um serviço ou sistema de transporte, há que ter em conta os seguintes parâmetros principais: o custo do serviço, o tempo de transporte (*door-to-door*), os atrasos registados, a ocorrência de perdas e danos, a flexibilidade e a frequência dos serviços.

Na análise entre os sistemas intermodal e sincromodal, é expectável que a comparação dos últimos três parâmetros não produza informação relevante, uma vez que: o conceito de intermodalidade assenta sobre a premissa de que a carga é transportada dentro de unidades de transporte que impedem o seu manuseamento directo, evitando, assim, o risco de danificação – dado que o conceito de sincromodalidade adopta também esta regra, ambos os sistemas estarão a operar sob as mesmas condições, não se esperando obter variações neste parâmetro; a flexibilidade de cada um dos sistemas (i.e., a possibilidade de alterar o itinerário consoante as circunstâncias observadas na rede) já é um parâmetro de construção do modelo, não fazendo sentido comparar um elemento de diferenciação de comportamento entre os agentes; finalmente, a frequência dos serviços de transporte já está à partida fixada, sendo idêntica em ambos os sistemas.

Assim, a comparação entre os dois sistemas assentará sobre duas dimensões principais: o preço, e o tempo.

3.5.4.1 PREÇO

Quadro 12 – Indicadores de Preço

Preço estimado	Preço referente aos itinerário inicialmente planeado e acordado com o cliente, sendo este o valor que lhe é cobrado.
Preço real	Preço referente aos serviços efectivamente utilizados ao longo do transporte, representando o preço real do transporte de cada encomenda.

Preço estimado A análise dos preços estimados para o serviço de transporte permite avaliar o nível de serviço, na medida em que cada um dos operadores apresenta sempre propostas que cumprem o objectivo da entrega dentro do prazo, mas poderá seleccionar itinerários mais ou menos atraentes em termos de preço.

Preço real A análise dos preços reais associados aos serviços empregues durante o transporte permite avaliar os preço real a cobrar em cada um dos sistemas, quando confrontados com a realidade da ocorrência de distúrbios.

Preço estimado e Preço real A análise conjunta de ambas as variáveis permite avaliar a capacidade de resposta de cada um dos operadores à ocorrência de distúrbios. É de referir que, uma vez que os

preços de transporte correspondem à adição de uma margem de lucro de 10%-15% ao valor do custo de transportar a carga, e tendo em conta que ao cliente só será cobrado o valor inicialmente acordado, a análise da discrepância entre a estimativa de preços e o preço real permitirá aferir se existe prejuízo no funcionamento do sistema, ou se um eventual aumento de custos é coberto pela margem de lucro.

3.5.4.2 TEMPO

Quadro 13 - Indicadores de Tempo

Tempo previsto	Tempo previsto para o transporte, de acordo com o itinerário inicial.
Tempo real	Tempo de transporte praticado, desde a entrada no terminal de origem até à entrega no destino final.

Tempo previsto O tempo previsto permite, à semelhança do preço previsto, avaliar o nível de serviço oferecido pelo operador, na medida em que este apresenta propostas mais optimistas, ou pessimistas, em termos de finalização do transporte.

Tempo real O tempo real permite avaliar o grau de cumprimento do transporte, comparando com a estimativa inicial.

Tempo previsto e tempo real A análise conjunta de ambas as variáveis permite avaliar a capacidade de resposta de cada um dos operadores à ocorrência de distúrbios, nomeadamente na mitigação de impactos nos tempos de transporte.

3.5.5 VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO DE RESULTADOS

Antes de avançar para a aplicação do modelo e da análise dos resultados produzidos, é necessário introduzir uma nota acerca da verificação e validação do modelo desenvolvido.

Para que qualquer modelo seja aceite, e os seus resultados considerados plausíveis, é fulcral que exista um processo de verificação e validação do mesmo; sendo que a utilidade do exercício de modelação depende deste elemento, tal como ilustra Reis (2010, p. 223) ao afirmar que *antes de verificação e validação apropriadas, os modelos são brinquedos; após verificação e validação apropriadas, os modelos são ferramentas*.

Tendo em consideração que os modelos são, por definição, simplificações da realidade, será impossível reproduzir de forma fiel toda a complexidade dos fenómenos reais e, conseqüentemente, alcançar uma representação perfeita da realidade. Assim, a verificação e validação são um exercício de bom-senso e de construção de credibilidade, por forma a ganhar confiança nos resultados obtidos com o modelo (Reis, 2010).

Apesar de verificação e validação serem frequentemente utilizadas como sinónimos, no contexto de modelação designam conceitos distintos, tal como refere Reis (2010): a **verificação** consiste no conjunto de passos ou técnicas que o modelador utiliza para confirmar que não existem erros no modelo que prejudiquem a sua corrida e que este executa cada tarefa tal como pretendido, procurando garantir que se comporta em concordância com todas as especificações e assunções inicialmente estipuladas; a **validação**, por sua vez, refere-se ao conjunto de processos e técnicas que o modelador aplica para garantir que o modelo é capaz de convenientemente reproduzir todos os comportamentos observados na realidade.

Na presente dissertação, ao longo da construção do modelo, o processo de verificação foi executado continuamente, sendo repetidos vários passos e testes, nomeadamente:

- a construção faseada de cada um dos elementos que compõem o modelo, sendo testado o funcionamento do mesmo a cada nova adição, permitiu a detecção e correcção de erros de lógica e assegurar que cada componente se comporta como esperado;
- o frequente *debugging*, utilizando a ferramenta do *software* de modelação, garantiu que nenhum erro de compilação prosseguia até à versão final do modelo desenvolvido;
- sendo que o correcto funcionamento dos componentes não implica a correcta execução do modelo global, este último foi igualmente testado, procurando-se identificar erros de compilação ou de lógica remanescentes;
- adicionalmente, o teste da reacção do modelo a variações de parâmetros, como por exemplo a redução do intervalo entre gerações de encomendas para valores mínimos, permitiu avaliar a sua execução sob condições de stress.
- a consulta de modeladores mais experientes auxiliou, não só na identificação e correcção de possíveis causas de erros, como também permitiu a discussão de perspectivas alternativas sobre a concepção dos elementos ou sobre a abordagem à programação, que ajudaram a moldar os processos e lógicas até atingir a versão final do modelo.

Em paralelo à verificação, houve também um exercício de validação ao longo do desenvolvimento do modelo, com o objectivo de assegurar que este representa convenientemente os comportamentos observados no mundo real e produz resultados plausíveis. Este processo de validação foi desenvolvido com base num conjunto de passos, tal como proposto por Reis (2014, p. 109):

- **Validação de Requisitos** sendo que o modelo deve responder a determinadas especificações e questões acerca do mundo real, o objectivo do modelo desenvolvido é ser capaz de simular o funcionamento da cadeia de transporte, bem como o comportamento dos agentes que nestas operam, por forma a servir como ferramenta de validação de cenários hipotéticos.
- **Validação de Dados** os dados usados no modelo devem ser válidos, sendo que na presente dissertação os dados foram obtidos através da literatura, nomeadamente BG *et al.* (2016), ou de consulta com especialistas.
- **Validação de Teorias** sendo que as *assunções do modelo devem ser válidas*, à semelhança da validação de dados, as *assunções* foram aplicadas em concordância com os conhecimentos transmitidos pela literatura, bem como com as visões transmitidas por conhecedores do sector.
- **Validação de processos** os agentes, a estrutura das interações e as etapas do modelo devem ser claros, relevantes e corresponder ao processo do mundo real, sendo que a estrutura do modelo desenvolvido procura reflectir o processo típico de transporte e as propriedades dos objectos também reproduzem a realidade.
- **Validação de Agentes** sendo que o comportamento, relações e interações dos agentes devem corresponder a acções do mundo real, todos os agentes foram baseados nas descrições e considerações presentes na literatura consultada.

4 Modelação e Análise de Resultados

4.1 Cenários de Simulação

A aplicação do modelo desenvolvido para a comparação do transporte intermodal e sincromodal irá assentar em três cenários diferentes, cada um traduzindo os diferentes comportamentos do operador segundo cada conceito, sobre os quais serão corridas as simulações para testar a sua reacção a diferentes condições do sistema.

4.1.1 *CENÁRIOS DE COMPORTAMENTO DOS OPERADORES*

4.1.1.1 *INTERMODAL*

O primeiro cenário a testar será o do operador intermodal, sendo que este será notificado sempre que ocorram distúrbios, sendo estes identificados da forma anteriormente descrita: quando um serviço alcance o destino 10 minutos antes, ou após, o previsto; quando o serviço não puder efectuar a recolha de uma encomenda devido à sua ausência na fila de espera correspondente no terminal; ou quando o serviço seja cancelado. Aquando da chegada de uma mensagem de atraso, o operador irá então proceder ao simples reagendamento das encomendas directamente afectadas pela ocorrência, alocando-as ao próximo serviço com capacidade disponível, mas sem introduzir quaisquer alterações ao itinerário.

4.1.1.2 *SINCROMODAL 1.0*

O cenário testado em seguida será um híbrido entre os dois conceitos, sendo que neste caso o operador terá o comportamento de um operador sincromodal na ocorrência de distúrbios, não só replaneando encomendas directamente afectadas, como também revendo o planeamento das restantes, mas estando este processo de replaneamento condicionado pela ocorrência destes distúrbios, da mesma forma que para o operador intermodal.

Na prática isto corresponderá a um sistema em que o operador tem a capacidade de gerir a cadeia de transporte para responder a alterações nas condições do sistema, mas o equipamento utilizado pelos veículos não permite a recolha de dados em tempo real; nestas condições, o operador não pode prever a ocorrência de atrasos ou avanços durante o transporte entre terminais, e só é notificado quando esta viagem for concluída com um tempo de transporte suficientemente desfasado do previsto para ser considerado relevante. Em adição, ao não conseguir prever se determinadas encomendas irão, ou não, chegar ao terminal a tempo para serem carregadas para o próximo serviço, o operador fica impossibilitado de alterar a reserva de carga no serviço, alocando encomendas de menor prioridade, mas que já se encontram no terminal, em substituição de uma que irá chegar atrasada.

4.1.1.3 *SINCROMODAL 2.0*

O cenário final a testar será o do operador sincromodal com acesso em tempo real a toda a informação disponível do sistema. Neste, o operador executa o procedimento descrito anteriormente para o replaneamento e revisão do transporte de todas as encomendas existentes sempre que seja

notificado da ocorrência de um atraso. Em adição, sempre que uma encomenda chegue ao terminal, o operador é encaminhado para o estado de replaneamento e é feita a revisão do planeamento de todas as encomendas existentes.

No âmbito da presente tese considerou-se que a criação de uma lógica para simular a localização, em tempo real, dos diversos veículos e para o cálculo de previsões de tempos de chegada, tendo estes de ser continuamente re-avaliados, seria demasiado complexa, em termos do desenvolvimento do código correspondente, e computacionalmente exigente. Assim, optou-se por criar a lógica mais simples de revisão do planeamento sempre que haja um novo desenvolvimento, neste caso a entrada de uma encomenda no terminal, obrigando o operador a executar este processo de uma forma mais regular, quase cíclica, e a procurar activamente por oportunidades de melhoria do serviço.

4.1.2 CASOS DE VARIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DO SISTEMA

Ao longo da descrição do desenvolvimento do modelo, no capítulo anterior, foram definidos os parâmetros e atributos que regem o funcionamento do modelo, ditando a forma como os processos se desenrolam, sendo que os valores adoptados caracterizam as condições base do sistema, que se poderá denominar o caso inicial, ou Caso 0.

Após a recolha dos resultados desta situação inicial, para a qual foram efectuadas 20 corridas em cada cenário, revelou-se interessante comparar as respostas de cada operador face a condições mais extremas de funcionamento do sistema. Para esse efeito, foi testado um caso adicional, que corresponde à alteração de alguns parâmetros, tal como descrito no Quadro 14, onde as condições de simulação se tornam mais adversas, dificultando o transporte atempado da carga ao longo da cadeia de transporte, tendo-se realizado 4 corridas para cada cenário neste caso, denominado Caso 1.

Quadro 14 - Parâmetros de modelação para os casos testados

Parâmetros alterados	Caso 0	Caso 1
Período de Simulação	01/01/16 - 01/01/17 (8684 h)	01/01/16 - 01/05/16 (2904 h)
Geração de encomendas	Normal(9;0,5)	Normal(3;0,5)
Antecedência do pedido	before=uniform_discr(0,3)*day()	before=uniform_discr(0,1)*day()
Janela de transporte	after=uniform_discr(4,7)*day()	after=uniform_discr(0,2)*day()
Vel. Circulação – Camião	Triangular(45;70;85)	Normal(70;6)
Vel. Circulação – Navio	Triangular(15;30;50)	Normal(30;7)
T. Trânsito – Comboio	Triangular(0,97t;t;1,1t)	Triangular(0,9t;t;1,2t)

As variações introduzidas entre a configuração inicial, o Caso 0, e a final, o Caso 1, consistem em primeiro lugar num aumento da frequência de geração de encomendas, sendo que o número de encomendas criadas diariamente passa a variar entre 5 e 16, por oposição às 2 a 3 do modelo inicial. A decisão por uma tão reduzida frequência de geração nas condições iniciais de simulação deveu-se à exigência computacional da simulação de um elevado número de encomendas ao longo de 1 ano, pelo que a opção por aumentar o número de encomendas geradas no Caso 1 é acompanhada pela redução do tempo de simulação para 4 meses.

Em seguida, optou-se por simular a existência de clientes menos flexíveis, em termos de tempos de transporte, estabelecendo-se que o pedido apenas poderia ser feito no dia anterior, ou no próprio dia

em que a encomenda é recolhida, procedendo-se a uma redução adicional da janela de transporte, onde a data de entrega poderá coincidir com a data de recolha, e estender-se até 2 dias após esta.

Finalmente, após este aumento da exigência do modelo, adicionou-se instabilidade no sistema através da alteração das funções de distribuição que regem as velocidades de circulação dos veículos rodoviários e marítimos, passando de triangulares a normais, bem como do aumento da amplitude da função triangular que dita os tempos de trânsito dos serviços ferroviários.

4.2 Discussão de Resultados

Na presente secção será feita a análise dos resultados obtidos após a simulação, sendo que esta se encontra dividida em três partes: numa primeira instância será avaliado o desempenho global do sistema, na óptica do sucesso do cumprimento do prazos estabelecidos, bem como das previsões de preço e de tempo de entrega, comparando-se os valores obtidos nas várias corridas efectuadas; em seguida será feita uma análise mais aprofundada do cumprimento destes tempos, na qual se pretende aferir o grau de desfasamento entre os pré-estabelecido e o efectuado e a forma como este varia consoante os operadores que gerem a rede; finalmente, afigurou-se interessante estabelecer uma análise comparativa entre os resultados de dois pares origem-destino da cadeia de transporte e avaliar como variam as respostas dos diferentes operadores à exigências de cada um destes possíveis trajectos em termos de cumprimento dos prazos e tempos previstos.

4.2.1 RESULTADOS GLOBAIS DA SIMULAÇÃO

Tendo em conta que o objectivo de um gestor de uma cadeia de transporte é o transporte da carga dentro dos prazos estabelecidos e ao menor custo possível, considerou-se que uma primeira abordagem à avaliação do grau de sucesso da solução de transporte adoptada passa por avaliar, por um lado a fracção do transporte que cumpre os requisitos estabelecidos e, por outro, os custos adicionais que o tornaram possível, tanto em termos de esforços de planeamento como monetários.

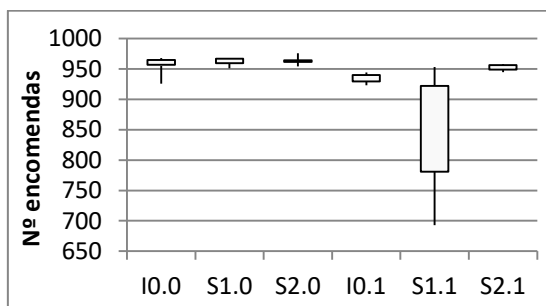


Figura 31 – Número de encomendas entregues

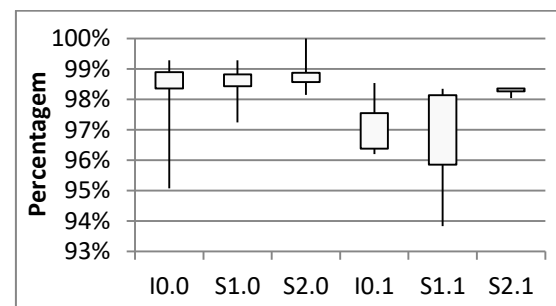


Figura 32 – Percentagem de encomendas entregues

Com base na Figura 31 e Figura 32, pode observar-se que o sucesso na entrega das encomendas ronda tipicamente os 97% a 99% de encomendas entregues no final do ciclo de simulação, sendo que existirá sempre uma percentagem de encomendas por entregar, correspondente a encomendas recentemente criadas, ou que ainda se encontram em circulação aquando do término da simulação. No entanto, é possível notar que os cenários sincromodais, particularmente o Sincromodal 2, apresentam um nível de desempenho superior ao Intermodal; esta diferença, apesar de muito ligeira no Caso 0, é já pronunciada no Caso 1, onde as condições no sistema são mais adversas. Convém referir que, no Caso 1, os resultados do cenário Sincromodal 1 apresentam uma discrepância notável

dos demais, devendo-se isto ao facto de existirem corridas onde o número de encomendas geradas é bastante inferior à norma.

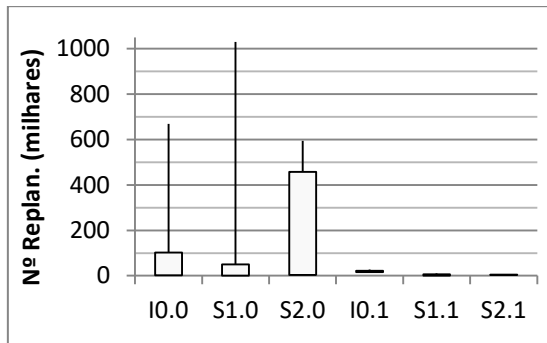


Figura 33 – Número de replaneamentos efectuados

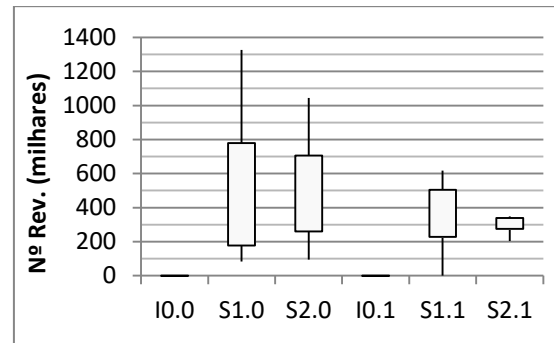


Figura 34 – Número de revisões efectuadas

Relativamente aos replaneamentos e revisões efectuadas, é interessante notar, na Figura 33 e Figura 34, que, embora o operador Sincromodal 2 efectue muito mais replaneamentos do que os restantes, o que é esperado tendo em conta que este efectua a monitorização das condições do sistema com maior assiduidade, isto não se verifica na análise das revisões efectuadas, onde o operador Sincromodal 1 revela predominância. Em adição, é possível observar-se uma redução do número de replaneamentos e de revisões à medida que as condições do sistema se tornam mais adversas, podendo argumentar-se que esta diminuição estará relacionada com a redução do tempo que a encomenda permanece no sistema, que diminuirá a oportunidade de aplicar mudanças ao planeamento.

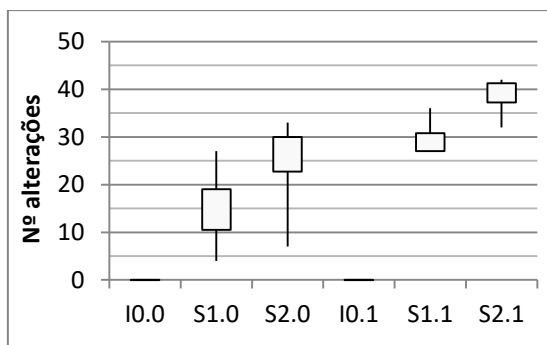


Figura 35 – Número de alterações efectuadas

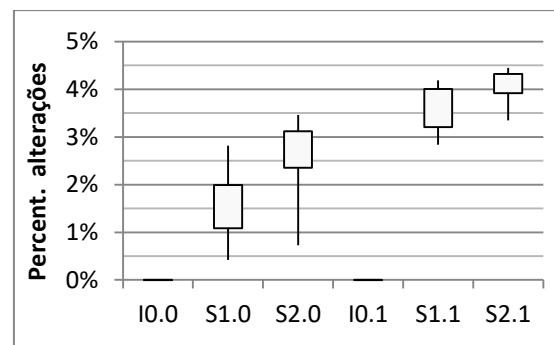


Figura 36 – Percentagem de encomendas alteradas

Apesar da elevada frequência de revisões e replaneamentos, o número de encomendas a efectivamente alterar o itinerário é bastante reduzido, variando entre os 2% e os 4,5 % nos casos testados; podendo inferir-se que a maioria das alterações efectuadas aquando da revisão ou replaneamento terá correspondido a alterações no agendamento dos serviços, e não do itinerário. É também curioso notar que, apesar de o número de replaneamentos e revisões diminuir do Caso 0 para o 1, esta situação inverte-se no caso das alterações de itinerário, sendo que o operador Sincromodal 2 revela mais tendência para efectuar mudanças de itinerário, tal ilustram a Figura 35 e a Figura 36.

Relativamente aos preços de transporte, verifica-se que, em termos absolutos, os vários cenários apresentam valores globais de preço de transporte reais muito semelhantes, com a tendência para o aumento de preço para o cenário Sincromodal 2; isto indica que existe, nos cenários Sincromodais uma relação de *trade-off*, no qual é necessária alteração do planeamento para itinerários mais caros para minimizar os atrasos que ocorrem durante o transporte (na prática, existindo uma migração para

os serviços rodoviários, mais caros mas flexíveis). A diminuição de preço entre o Caso 0 e o Caso 1 estará associada ao menor número de encomendas geradas nos vários cenários para o segundo, sendo esta discrepância particularmente notória no cenário Sincromodal 1, tal como evidenciado na Figura 37.

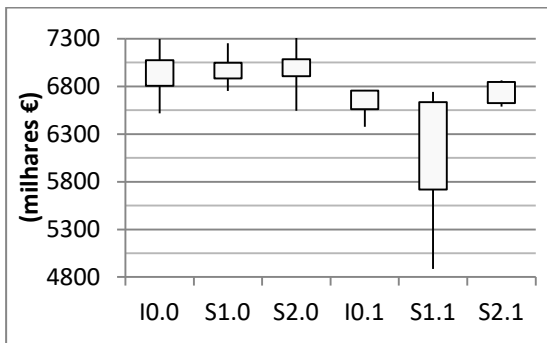


Figura 37 – Preço total real

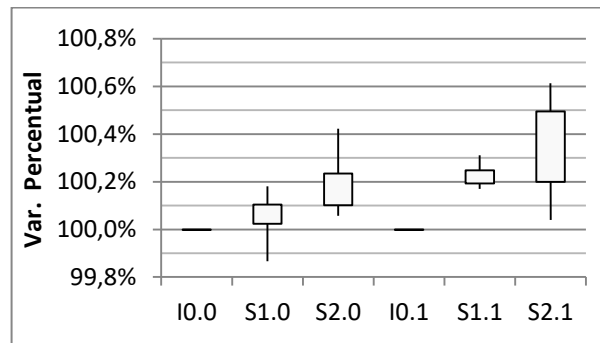


Figura 38 – Variação relativa ao preço total previsto

Apesar de existir uma redução dos preços de transporte entre casos em termos absolutos, ao analisar a variação percentual, apresentada na Figura 38, é notório o aumento percentual dos preços, não só com a sincromodalidade, como também com a exigência do sistema. Isto indica que, tal como esperado, a introdução de adversidade no sistema irá obrigar o operador sincromodal a optar por itinerários mais onerosos para garantir o cumprimento do prazo de entrega. É, no entanto, de considerar que as variações em termos percentuais são marginais, não alcançando os 0,7%; tendo em conta que o cálculo dos preços contempla uma margem de lucro de 15% sobre os custos de operação dos serviços, poderá concluir-se que a discrepância entre preços reais e previstos é coberta por esta margem de lucro, mantendo-se a sustentabilidade económica da solução.

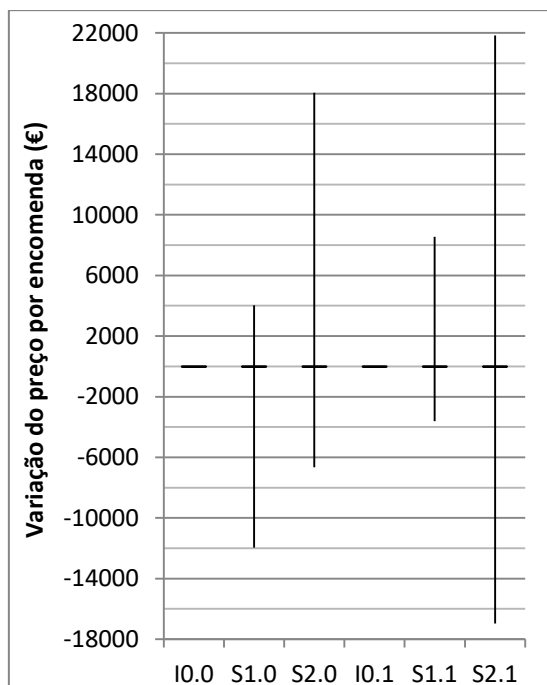


Figura 39 - Variação dos preços por encomenda

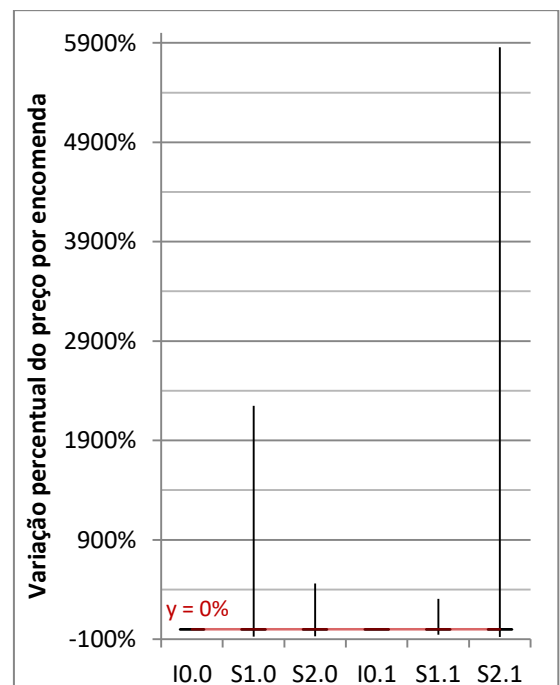


Figura 40 – Variação percentual dos preços por encomenda

Analisando a variação de preços ao nível da encomenda, é possível observar nas Figuras 39 e 40 que a quase totalidade das encomendas não sofre alteração de preços, o que está em concordância

com o reduzido número de alterações de itinerário anteriormente comentado, sendo que, no entanto, existem algumas encomendas onde a variação está ao nível das dezenas de milhar de euros. Estes poderão ser casos excepcionais onde os itinerários inicial e final optam pelo uso de modos diferentes ao longo de toda a rede, ao invés de diferirem apenas em algumas pernas, em que a diferença de preços associada a cada um dos modos é significativa, como por exemplo entre o modo rodoviário e marítimo.

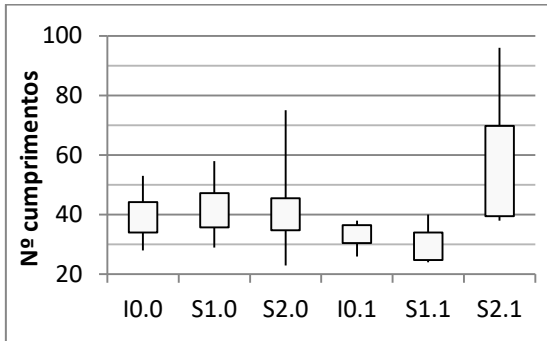


Figura 41 – Número de entregas que cumpre a previsão

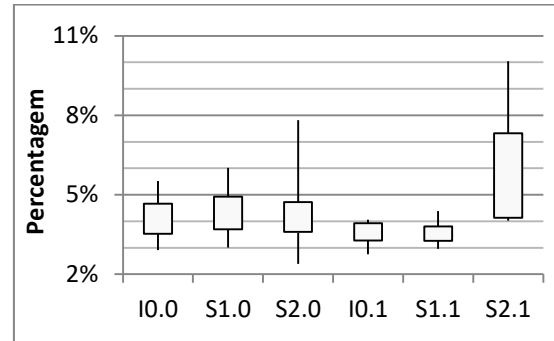


Figura 42 – Porcentagem de entregas que cumpre a previsão

Relativamente ao cumprimento das previsões de transporte, pode observar-se na Figura 41 e Figura 42, que para as condições de funcionamento do sistema de transporte inicialmente estipuladas, não existem diferenças relevantes entre cada um dos cenários, podendo apontar-se apenas que os cenários sincromodais, particularmente o Sincromodal 2, apresentam maior dispersão; isto poderá dever-se à maior probabilidade de alteração de itinerários nestas soluções, sendo que estas irão introduzir variações relativamente aos tempos previstos. Já no Caso 1, existe um destacamento pela positiva do cenário Sincromodal 2, onde este revela maior capacidade de cumprimento das previsões; isto indica que a maior frequência de monitorização das condições irá conferir ao operador um maior controle sobre o processo de transporte das encomendas, permitindo-lhe manter o nível de serviço em situações mais extremas de funcionamento do mesmo.

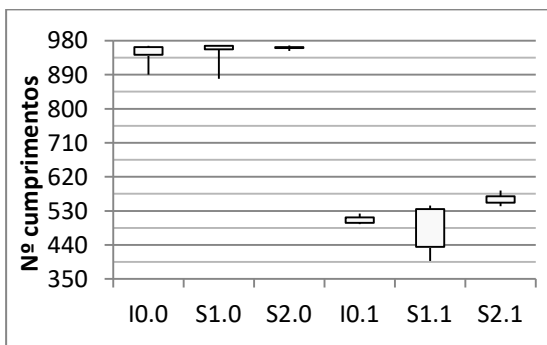


Figura 43 – Número de entregas que cumpre o prazo

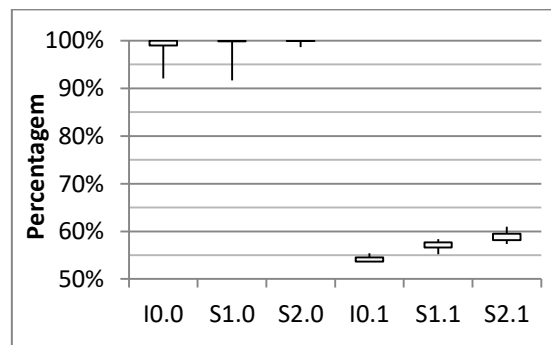


Figura 44 – Porcentagem de entregas que cumpre o prazo

Finalmente, resta analisar o cumprimento dos prazos de transporte. Como se pode observar na Figura 43 e Figura 44, as variações entre cenários são relativamente contidas, na medida em que não se nota uma discrepância suficientemente significativa para que se possa estabelecer a superioridade de um cenário, por oposição a outro. No entanto, é possível observar que a introdução de características sincromodais aparenta produzir resultados mais consistentes, podendo referir-se a menor dispersão dos resultados do cenário Sincromodal 2 no Caso 0, e mais favoráveis, sendo que

com a introdução de adversidade no sistema no Caso 1 começa a existir uma maior variação entre cada cenário, com a sincromodalidade a apresentar melhorias sobre a intermodalidade.

4.2.2 GRAU DE CUMPRIMENTO DAS PREVISÕES E PRAZOS

Após uma primeira análise dos desempenhos globais de cada cenário, torna-se importante avaliar, para além do cumprimento dos tempos previstos e estipulados, o grau, ou gravidade, dos incumprimentos. Para tal, serão avaliados os desvios em relação às previsões de tempo de transporte e em relação aos prazos: primeiro numa óptica de valor absoluto, ou seja, o número de horas em que excedeu, ou adiantou, o transporte; e em seguida, e tendo em conta que diferentes encomendas poderão ter prazos de entrega mais ou menos afastados da data de recolha, na óptica do que esse desvio representa em termos da dimensão da janela de transporte.

4.2.2.1 CUMPRIMENTO DAS PREVISÕES

São apresentados nas Figuras 45 e 46, os desvios em relação ao tempo de transporte previsto de cada um dos cenários para os diferentes casos testados, sendo que é importante ressaltar que foi verificada, no tratamento dos resultados, a existência de algumas encomendas com desvios incaracterísticos e muito superiores aos das restantes encomendas entregues. Assim, para facilitar a leitura dos diagramas, optou-se por apresentar os valores correspondentes ao percentil 99,75 (retirando-se, portanto, 0,0025% das observações), ao invés do valor máximo observado; este último poderá ser consultado no Quadro A. 6 (Anexo A3).

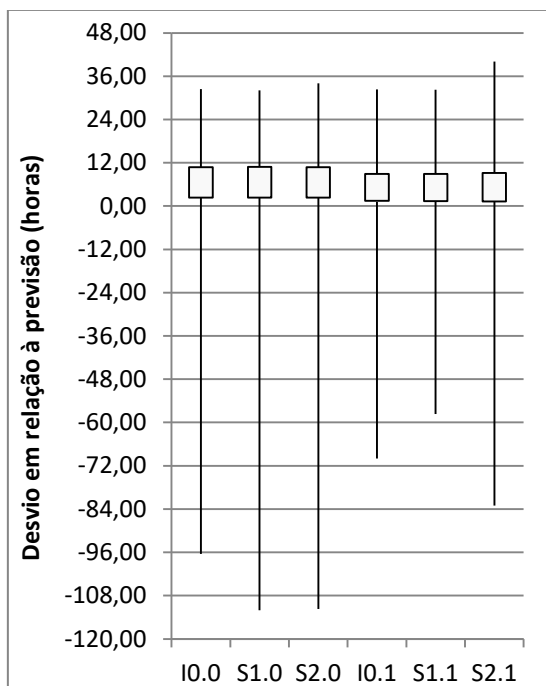


Figura 45 – Diferença horária entre o tempo de transporte e a previsão de tempo de transporte

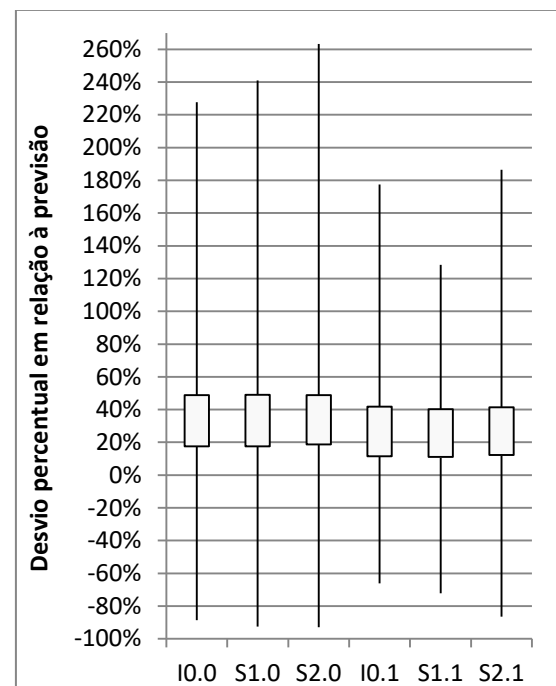


Figura 46 – Variação percentual em relação à previsão de tempo de transporte

Relativamente ao cumprimento das previsões, observa-se que entre os 1º e 3º quartis, o desvio em relação à previsão mantém-se relativamente constante entre os vários casos, e idêntico entre os modelos, estando metade das observações concentradas entre as 2,35 e as 10,8 horas de atraso relativamente ao previsto, no Caso 0, enquanto que no Caso 1, onde o desvio se reduz ligeiramente para entre as 1,3 e as 9 horas de atraso. De forma análoga, verifica-se que a tendência dos desvios

nos primeiro caso testado é a da concentração entre os 18% e 49% de atraso, ao passo que no Caso 1 estes valores reduzem para os 11% a 41%. Estes resultados revelam que a variação dos parâmetros das encomendas não tem um impacto significativo na capacidade cumprimento das previsões, embora se possa notar um ligeiro aumento na dispersão dos valores máximo e mínimo deste desvio para os cenários sincromodais, particularmente o Sincromodal 2, que poderá dever-se à maior probabilidade de estes alterarem o planeamento do transporte.

4.2.2.2 CUMPRIMENTO DOS PRAZOS

As Figuras 47 e 48 ilustram as tendências observadas nos desvio em relação ao prazo, sendo que, à semelhança do que foi feito para os desvios relativamente à previsão, os valores máximos representados correspondem ao percentil 99,75, podendo consultar-se os valores máximos observados no Quadro A. 6 (Anexo A3).

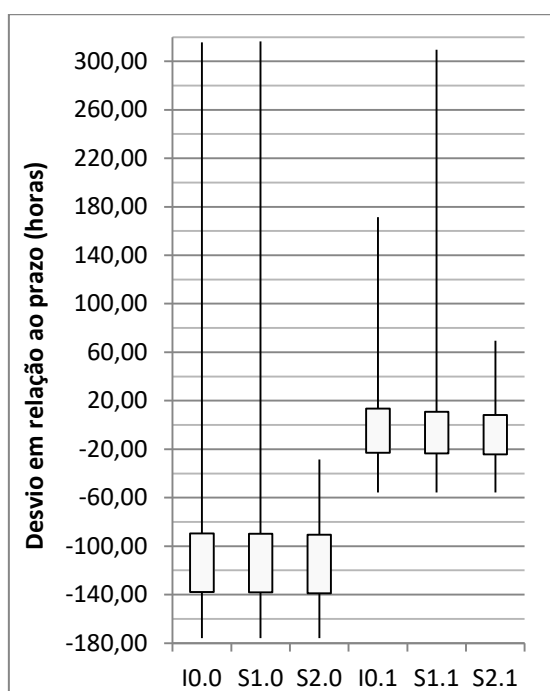


Figura 47 – Diferença horária entre a data de entrega e o prazo

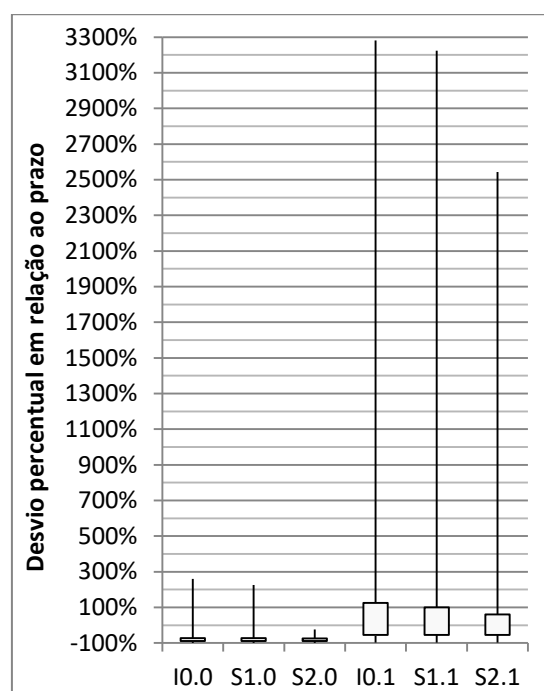


Figura 48 – Variação percentual em relação à janela de transporte

Em relação ao cumprimento dos prazos, é notável a reacção dos diversos cenários às alterações na dimensão da janela de transporte, sendo que com a diminuição dos prazos existe uma movimentação dos desvios em relação ao prazo para valores mais positivos, sinalizando a maior dificuldade em cumprir os limites estabelecidos. No entanto, no Caso 0, os cenários não apresentam diferenças significativas entre si, podendo apenas referir-se que o cenário Sincromodal 2 apresenta resultados mais consistentes, evidenciados pela menor dispersão observada; apenas após a redução dos prazos e do aumento da variação das velocidades e tempos de transporte dos modos no Caso 1, é que a divergência entre os modelos sincromodais e intermodal se começa a evidenciar. Isto vem corroborar a conclusão estabelecida na secção anterior, segundo a qual as vantagens teóricas da sincromodalidade, por comparação à intermodalidade, só se irão evidenciar quando o sistema é confrontado com condições mais extremas. É possível observar a evolução dos desvios absolutos e percentuais em relação ao prazo nas Figuras 49 e 50.

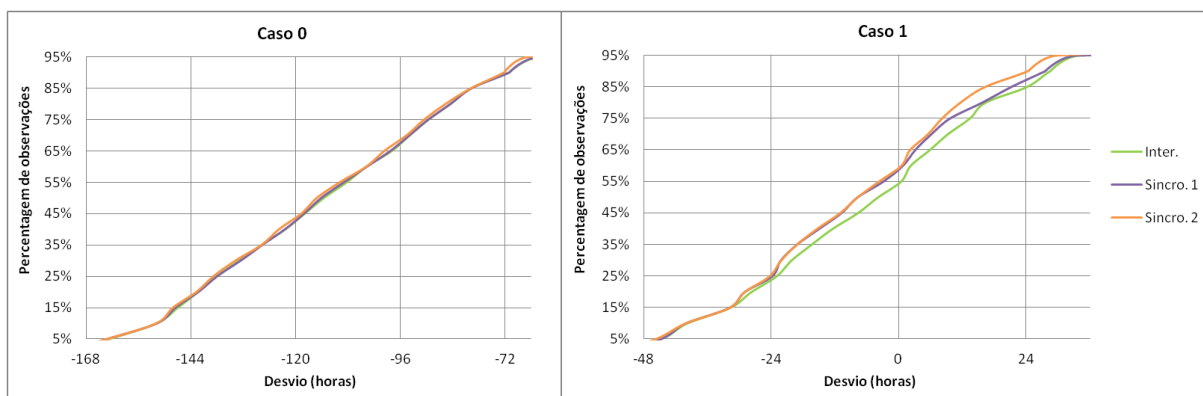


Figura 49 - Desvio absoluto em relação ao prazo

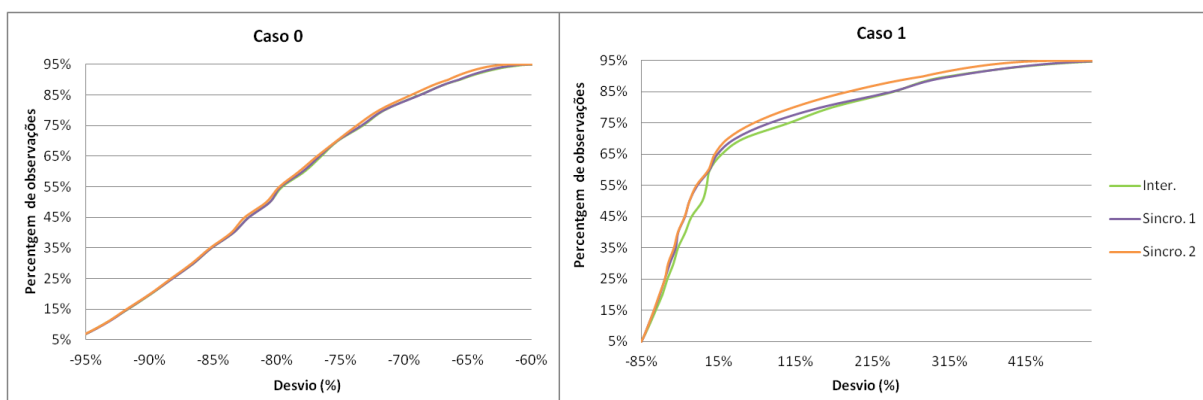


Figura 50 - Desvio percentual em relação à janela de transporte

4.2.3 COMPARAÇÃO DE RESULTADOS PARA DIFERENTES PARES ORIGEM-DESTINO

Após a análise dos resultados gerais da simulação dos diferentes cenários, considerou-se interessante perceber se o sucesso do cumprimento dos prazos dependerá apenas das condições do sistema, ou se a própria aleatoriedade na atribuição do par origem-destino de cada encomenda terá influência nestes valores e, se sim, em que medida isto afectar o desempenho de cada cenário. Para tal, foram seleccionadas as encomendas que com os pares origem-destino: Lisboa-Forbach e Irún-Bayonne; respectivamente, o trajecto mais longo e o mais curto existentes na cadeia de transporte considerada.

Devido à considerável discrepância entre as distâncias a percorrer em cada trajecto, nesta secção optou-se por confrontar directamente as dimensões do tempo previsto e da janela de transporte com o tempo real de transporte, ao invés de avaliar o desvio. Em adição, considerou-se que seria interessante observar como evoluem estes valores sob diferentes circunstâncias de funcionamento do sistema, pelo que serão comparados ao resultados obtidos no caso inicial com o Caso 1.

4.2.3.1 PREVISÃO VS. TEMPO REAL DE TRANSPORTE

Ilustra-se então, nas Figuras 51, 52 e 53, a relação entre os tempos previstos e reais para cada um dos trajectos em cada cenário.

Observando a representação gráfica das relações entre o tempo previsto e o tempo real do transporte, é possível notar que, por um lado, o trajecto Irún-Bayonne revela uma maior aproximação dos resultados ao inicialmente previsto, e, por outro, o cenário Sincromodal 2 se destaca dos demais, notando-se que este não apresenta aparente relação entre as duas dimensões.

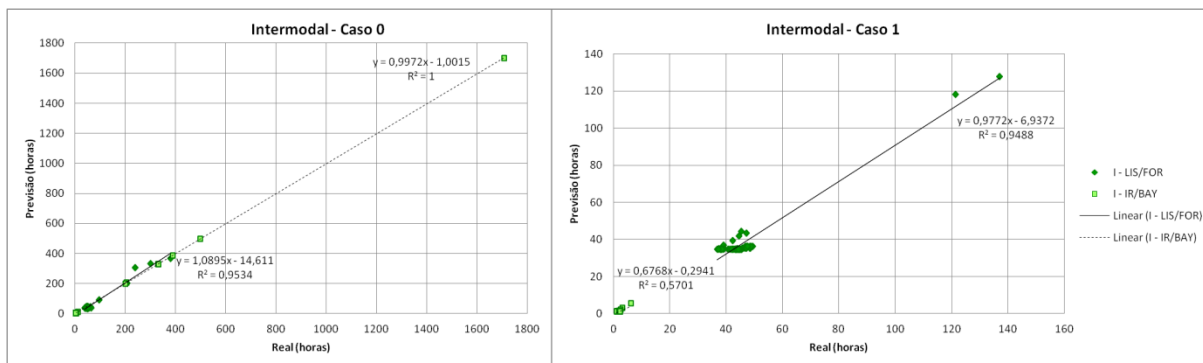


Figura 51 - Relação entre o tempo real de transporte e a previsão – Cenário Intermodal

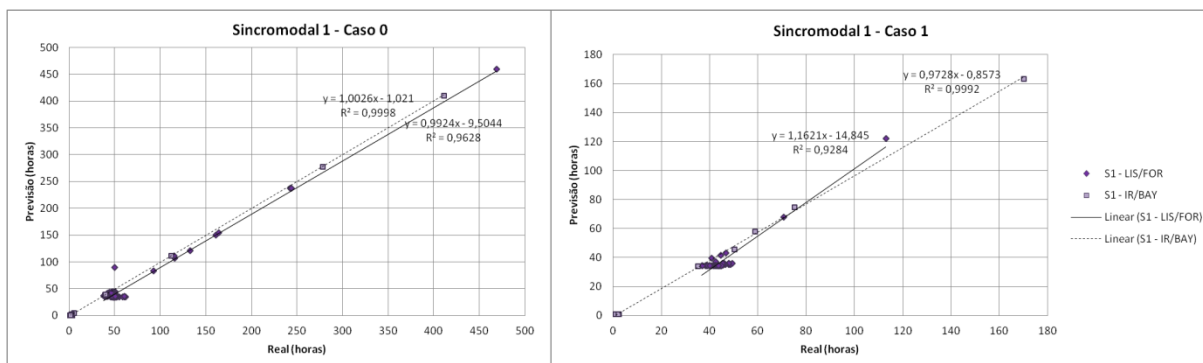


Figura 52 - Relação entre o tempo de transporte e a previsão - Cenário Sincromodal 1

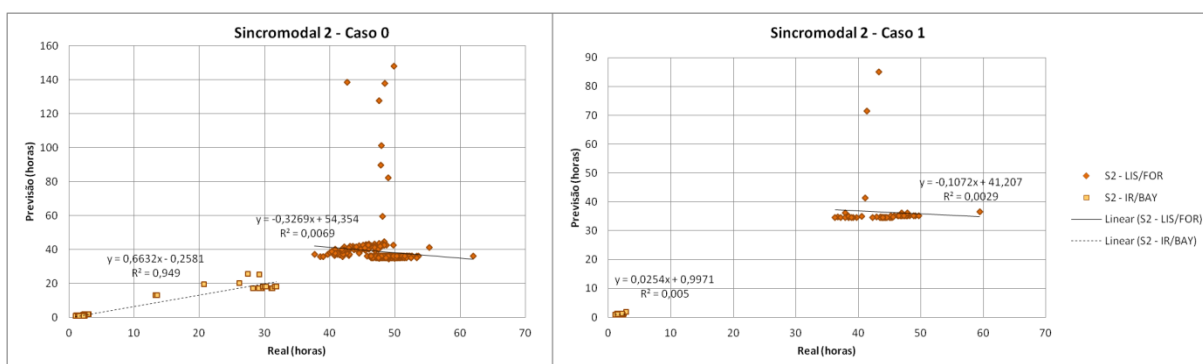


Figura 53 - Relação entre o tempo de transporte e a previsão - Cenário Sincromodal 2

Relativamente à primeira constatação, isto não é inesperado, tendo em conta que o trajecto Irún-Bayonne é consideravelmente mais curto do que o Lisboa-Forbach, sendo composto por uma única perna de transporte entre a origem e o destino; com estas características, as variações em relação à previsão só poderão ser introduzidas durante um único movimento entre terminais, e eventualmente devido a durações inesperadas no processamento no terminal, ao passo que entre Lisboa e Forbach o transporte está sujeito à acumulação de sucessivas variações ao longo de múltiplos ciclos de transporte e processamento nos terminais.

Em relação à segunda afirmação, é possível observar que, para o Caso 0, em ambos os trajectos, tanto o cenário Intermodal como o Sincromodal 1 revelam uma forte relação entre o valor previsto e o real, sendo que é possível traçar uma recta de regressão onde a dimensão y evolui linearmente com a dimensão x na proporção de aproximadamente 1 (ou seja, a variação de tempo efectuado entre duas observações é praticamente idêntica à variação entre os respectivos tempos previstos), assumindo um desvio constante entre os valores das duas dimensões; este desvio é superior no trajecto Lisboa-Forbach, indo de encontro às considerações tecidas anteriormente. Já no Caso 1,

apesar de se observar a mesma tendência para o cenário Sincromodal 1 em ambos os trajectos, no Intermodal destaca-se o trajecto Irún-Bayonne, onde a relação entre os tempos previstos e reais deixa de ser tão evidente devido ao facto de haver uma concentração de observações junto dos valores típicos de tempo de transporte deste trajecto (1 a 3 horas).

Por sua vez, o cenário Sincromodal 2 apresenta alguma relação entre ambas as dimensões apenas no trajecto Irún-Bayonne onde, volta-se a frisar, existe muito menos oportunidade para a ocorrência de distúrbios e, conseqüentemente, de variações relativamente ao previsto; sendo que no Caso 0 a dimensão do tempo real tende a exceder a dimensão da previsão em 50%. Já no trajecto Lisboa-Forbach, não existe relação aparente entre as duas dimensões, sendo que o tempo real de entrega da grande maioria das observações se concentra entre as 40h e 55h, mesmo para situações em que o tempo previsto seja superior.

De uma forma geral, observa-se que a dispersão de resultados se reduz substancialmente entre o Caso 0 e o Caso 1, sendo que neste segundo é possível ver uma concentração de observações junto dos valores típicos do transporte de cada trajecto (1 a 3 horas para Irún-Bayonne; e 40 a 55h para Lisboa-Forbach). Esta evolução nas observações poderia conduzir à noção de que o aumento da exigência do sistema, nomeadamente através da diminuição dos prazos de transporte, poderá levar o operador a encarar com maior urgência a entrega das encomendas, reduzindo-se as situações de paragens alargadas nos terminais quando haja folga no cumprimento dos prazos. No entanto, há que ter em mente que para o Caso 1 foram efectuadas menos corridas, pelo que não se pode estabelecer uma relação conclusiva entre a exigência do sistema e o cumprimento dos prazos apenas com base nestes valores.

Pode no entanto observar-se que o cenário Sincromodal 2 apresenta uma maior consistência no nível de serviço, sendo que não se evidencia tanta variabilidade de resultados, em qualquer dos casos apresentados, quando comparado com os restantes cenários. Por outro lado, é possível notar que este operador tende a apresentar, no trajecto Lisboa-Forbach, uma mesma previsão para o tempo de transporte, rondando este as 30 a 45h, no Caso 0, e as 35 horas, no Caso 1; isto poderá indicar que a maior frequência de revisão das condições do sistema, e conseqüente maior frequência da identificação e planeamento de novas encomendas, levará ao planeamento de encomendas em condições de pouca competitividade pelos recursos, sendo seleccionada sempre o itinerário que, no momento do planeamento, permite uma mais célere entrega no destino.

4.2.3.2 JANELA DE TRANSPORTE VS. TEMPO REAL DE TRANSPORTE

Nas Figuras 54, 55, e 56, são apresentadas as representações gráficas da relação entre a dimensão da janela de transporte estabelecida aquando da criação da encomenda e o tempo real de transporte. A partir da análise da distribuição das observações, é possível estabelecer a ausência de uma relação directa entre a dimensão da janela de transporte e os tempos de transporte realizados, podendo no entanto observar-se algumas tendências interessantes.

Nesta confrontação das dimensões da extensão do prazo de entrega e dos tempos de transporte reais, é possível ver a organização das observações em agrupamentos de acordo com os diferentes valores assumidos pelas janelas de transporte. Isto é efeito da forma como foram definidos os

momentos de recolha, que serão entre as 8:00 e as 17:00 do dia em que a encomenda é disponibilizada para início do transporte, e o momento de entrega, que corresponde à entrega no destino até à 18:00 do dia de entrega; nestas condições, a janela de transporte irá variar entre 1:00 e 10:00, acrescidas das horas correspondentes ao número de dias que decorrem entre o dia de recolha e o de entrega.

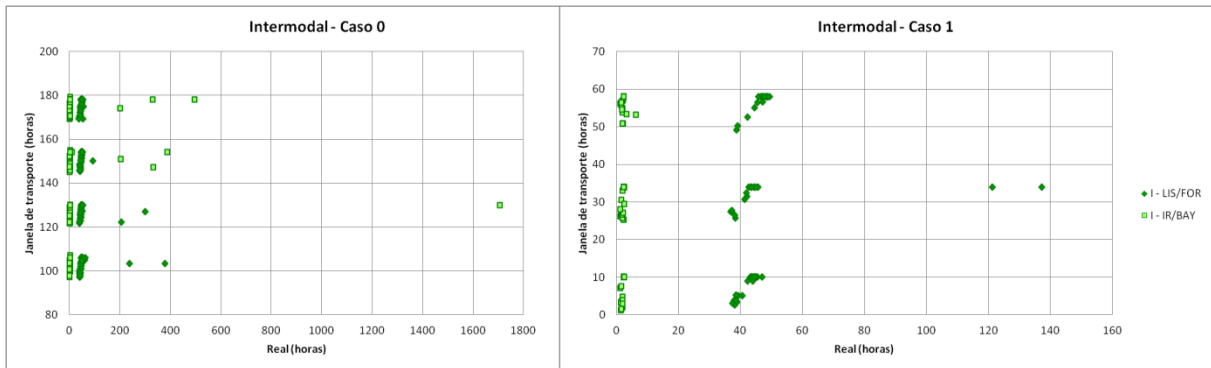


Figura 54 - Relação entre o tempo de transporte e a janela de transporte - Cenário Intermodal

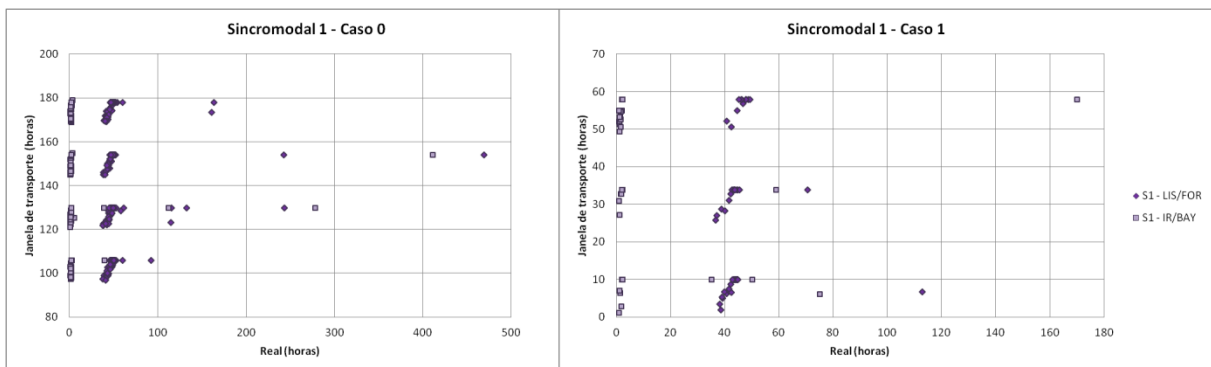


Figura 55 - Relação entre o tempo de transporte e a janela de transporte - Cenário Sincromodal 1

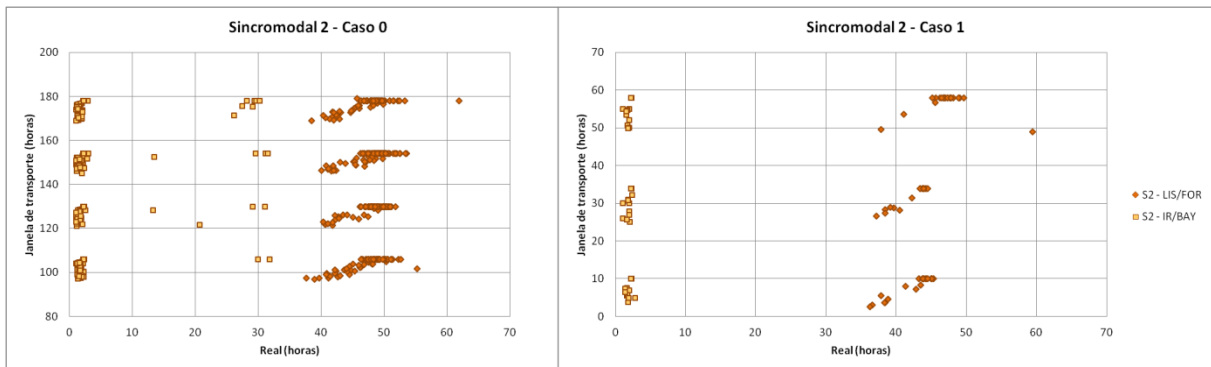


Figura 56 - Relação entre o tempo de transporte e a janela de transporte - Cenário Sincromodal 2

Tal como já constatado na análise da relação entre os tempos previstos e reais do transporte, é possível notar uma maior dispersão de observações nos cenários Intermodal e Sincromodal 1, por oposição ao Sincromodal 2, bem como a diminuição generalizada desta com o aumento da exigência do sistema no Caso 1, por comparação ao Caso 0.

Esta nova representação revela, no entanto, uma aparente distribuição das observações dentro de cada grupo de prazos. Embora isto não seja evidente no trajecto de Irún-Bayonne, devido à menor variação dos valores dos tempos de transporte reais, se se analisarem, para o trajecto Lisboa-Forbach, as observações cujos tempos de transporte reais cumprem os valores típicos para esta

ligação, i.e. de 35 a 55 horas, é possível notar um alinhamento das observações entre estes valores limite, que está em concordância com o aumento da janela de transporte dentro deste grupo de prazos, sendo que se nota em adição um ligeiro aumento da variação dos tempos reais de transporte para janelas de transporte mais alargadas.

Em relação ao aparente alinhamento das observações, é de notar que o movimento observado na deslocação dos tempos de transporte reais para valores superiores é correspondente à variação nos valores da janela de transporte, i.e. as observações que se concentram nos valores inferiores da janela de transporte são entregues com um tempo de transporte mínimo de 35 horas, enquanto que as que se encontram nos prazo mais alargado da mesma janela já são entregues num mínimo que ronda as 45 horas. Esta discrepância é consistente com a variação de valores dentro da janela de transporte (de 1 a 10 horas), indicando isto que, durante a simulação, o operador revela preferência por um mesmo itinerário, que utiliza sempre o mesmo serviço regular (ferroviário ou marítimo) em alguma etapa do transporte, sendo que encomendas geradas mais cedo no dia de recolha são obrigadas a aguardar mais tempo no terminal enquanto esperam a chegada do serviço.

Por outro lado, a aparente maior variação dos tempos de transporte para encomendas com prazo mais alargado no mesmo grupo de janela de transporte corresponderá a que, de uma forma prática, para um conjunto de encomendas cuja data de entrega diste um idêntico número de dias da respectiva data de recolha, aquelas que tenham um prazo mais reduzido, i.e. as que foram disponibilizadas mais tarde no dia de recolha, são entregues mais cedo. Isto indica que, apesar de o operador manter um nível de serviço idêntico para diferentes janelas de transporte, este procura ainda assim a entrega célere de entregas mais urgentes, estando em concordância com a lógica estipulada para este agente.

4.2.4 EXPERIÊNCIAS ADICIONAIS

Neste ponto da análise, é importante referir que, para além dos dois casos até agora estudados, foram também efectuadas algumas corridas adicionais onde se aplicaram diferentes configurações no modelo. Nestas, foram criados múltiplos cenários, descritos o em anexo, onde os parâmetros assumem valores intermédios entre os adoptados nos casos 0 e 1, com intuito de testar a reacção de cada tipo de operador quando confrontados com um conjunto de clientes com diferentes níveis de exigência na entrega da respectivas encomendas. No entanto, os resultados obtidos revelaram-se pouco relevantes no âmbito da discussão, uma vez que as diferenças entre estes são pouco pronunciadas. Os resultados destas corridas podem ser consultados no Quadro A. 6 (Anexo A3).

Após a análise dos resultados discutidos nas secções anteriores, foi também feita uma revisão dos processos construídos no modelo desenvolvido, tendo-se considerado que este não tomava em consideração a demora entre a ocorrência do distúrbio e a recepção da notificação junto do operador Intermodal, bem como o período que este e o operador Síncromodal 1 necessitam para reorganizar os recursos. Assim, foram introduzidos, antes e após o replaneamento, os atrasos estipulados no Quadro A. 7 (Anexo 3). Foram realizadas 10 corridas para cada cenário e cada caso, os resultados correspondentes apresentados no Quadro A. 8 e Quadro A. 9 do Anexo 3.

Este exercício permitiu observar a evolução da resposta de cada um dos operadores face a condições de funcionamento do sistema progressivamente mais adversas, podendo-se com base nesta concluir

que, as vantagens da sincromodalidade apenas se revelam em situações mais exigentes de funcionamento do sistema.

4.3 Conclusões

No presente capítulo, foi efectuada uma análise comparativa entre diferentes tipos de operador logístico: um intermodal, um sincromodal, e um agente intermédio, com a capacidade de alteração de itinerários característica da solução sincromodal, mas com uma reduzida capacidade de monitorização das condições do sistema; procurando-se testar a sua reacção face a diferentes circunstâncias de funcionamento do sistema com a introdução de dois casos: um mais flexível, em termos de planeamento, com uma menor frequência de geração de encomendas e prazos de transporte mais alargados; e outro mais exigente, com um maior número de encomendas a circular e simultâneo no sistema, cujos prazos de entrega são bastante mais reduzidos.

Uma primeira análise dos resultados globais das corridas efectuadas para cada tipo de operador, e em cada caso, permitiu concluir que, embora as diferenças entre cenários não sejam muito pronunciadas, os cenários sincromodais, e em particular o Sincromodal 2, aparentam exibir maior percentagem de entregas efectuadas antes do término da simulação, podendo isto indicar uma maior celeridade no transporte, bem como maior capacidade de cumprimento das previsões e dos prazos.

Por outro lado, esta melhoria na qualidade do serviço prestado implica uma relação de *trade-off* entre o tempo e o preço, reflectida no aumento dos preços reais do transporte. No entanto, esta variação é residual, sendo que a perda de receita é compensada pela margem de lucro estabelecida no cálculo dos preços, garantindo-se a sustentabilidade da solução sincromodal em termos económicos.

A comparação dos desvios entre o tempo de transporte real e o tempo previsto aquando do planeamento inicial da encomenda veio a revelar que, embora as soluções sincromodais tenham um maior sucesso na entrega das encomendas dentro da previsão, quando se analisa o que isto representa em termos de desfasamento horário as diferenças entre cenários são muito reduzidas.

Já a comparação dos desvios entre o tempo de transporte efectuado e a dimensão do prazo de entrega veio a revelar que, embora as diferenças sejam ténues para as condições de funcionamento testadas, os cenários sincromodais apresentam uma melhoria, observando-se uma maior proporção de encomendas entregues dentro dos prazos estipulados.

É de notar que ao longo de toda a análise as discrepâncias entre os resultados de cada cenário são geralmente mais notórias quando o sistema funciona sob condições mais exigentes, em que o Operador tem menor oportunidade para corrigir os efeitos dos distúrbios identificados, começando a solução sincromodal a apresentar um nível de desempenho superior. Poderá com isto concluir-se que o transporte sincromodal revela potencial no cumprimento das entregas dentro dos prazos estipulados, mas que, não esquecendo que a intermodalidade não é uma solução de transporte de todo ineficiente, as vantagens da sincromodalidade apenas se irão destacar em situações onde o sistema opere sob circunstâncias mais particulares e adversas, nomeadamente em situações de maior conflito devidas a uma maior variabilidade do nível de serviço dos modos de transporte, a uma menor flexibilidade dos clientes, ou a uma maior competição das encomendas pelos recursos disponíveis.

5 Conclusão

5.1 Conclusões finais

No contexto do transporte de mercadorias, têm surgido ao longo dos anos vários conceitos de transporte que propõem o uso de múltiplos modos durante o movimento da carga entre a origem e o destino, procurando, por um lado, o uso de modos alternativos ao rodoviário durante a maior parte do transporte, e evitando assim o congestionamento e degradação acelerada da infraestrutura, e, por outro, o desenvolvimento de soluções de transporte mais eficientes, economicamente viáveis, de maior nível de desempenho, ou até ambientalmente sustentáveis.

O mais recente destes conceitos é a Sincromodalidade, que propõe a visualização da rede como um único serviço, onde os diversos modos de transporte cooperam entre si e no qual existe uma constante partilha de informação entre os múltiplos agentes que actuam na rede. Estas características abrem a possibilidade para a introdução do conceito de alterações em tempo real, segundo o qual poderão ser introduzidas alterações, quer de modo, quer de serviço, ao planeamento a qualquer momento, devidas a novas especificações do expedidor, ou à ocorrência de distúrbios no sistema.

Sendo este conceito ainda pouco explorado na literatura, o objectivo proposto para a presente dissertação foi a investigação dos potenciais benefícios da solução sincromodal, bem como as limitações destes, através da comparação com o desempenho da solução intermodal.

Para cumprir este objectivo, foi desenvolvida uma metodologia de avaliação do sucesso do transporte de encomendas ao longo de uma secção do Corredor Atlântico, que confronta vários tipos de operador logístico com diferentes condições de funcionamento do sistema. Para este fim, foi criado um modelo, baseado nos métodos de modelação por eventos discretos e por agentes, que simula os processos executados por cada agente que opera na rede, bem como as interacções entre estes e as lógicas de tomada decisão aquando do planeamento, ambos reflectindo as divergências entre cada conceito de transporte.

Foram avaliados um conjunto de 6 configurações do modelo, simulando 3 possíveis cenários de operador logístico (um intermodal, um sincromodal, e um híbrido, com a capacidade de alteração de modos, mas sem capacidade de monitorização das condições do sistema) confrontados com 2 casos de exigência no sistema (um onde os prazos são flexíveis, e outro onde os prazos são rígidos e existe maior variabilidade dos tempos de transporte).

Atingindo-se os objectivos da presente Dissertação, os resultados obtidos permitiram concluir que a sincromodalidade revela potencial de melhoria de desempenho, na medida em que é capaz de produzir um maior número de entregas, bem como um maior número de entregas dentro do tempo previsto para o transporte e dentro do prazo. Neste aspecto, a capacidade de monitorização é o que mais destaca, em termos de desempenho, a sincromodalidade da intermodalidade, permitindo à primeira oferecer um serviço mais consistente e atempado.

No entanto, a análise das diferenças entre os tempos de transporte efectuados e previstos, bem como entre o momento de entrega e o prazo estipulado, veio a revelar que, apenas na entrega dentro do prazo é que a sincromodalidade revela vantagens, sendo estas reduzidas.

É importante referir que os resultados obtidos vieram mostrar que as vantagens da sincromodalidade apenas são reveladas quando o sistema é confrontado com circunstâncias mais adversas, sendo que se observou um pronunciar das diferenças entre cada operador quando testado o caso de maior exigência no sistema.

5.2 Desenvolvimentos Futuros

Ao longo da elaboração da dissertação, e em particular do modelo de simulação, foram identificados um conjunto de abordagens alternativas, ou complementares, à avaliação do desempenho de uma cadeia de transporte sincromodal.

Numa primeira instância, existe um conjunto de simplificações que foi necessário implementar, por razões de complexidade e de exigência computacional, ao nível da lógica de planeamento que rege o processo de decisão do operador.

Nesta óptica, seria interessante enriquecer a simulação, dotando o operador com a capacidade de executar uma “verdadeira” consolidação: no modelo esta noção foi simplificada, admitindo-se apenas que um mesmo veículo marítimo ou ferroviário poderia transportar diversas encomendas, enquanto que o veículo rodoviário abandona o terminal assim que carrega uma encomenda. Na realidade, o facto de existir consolidação significaria que encomendas distintas seriam transportadas em conjunto e, conseqüentemente, sofreriam os mesmos distúrbios ao longo de todo o transporte, ou até que o operador sincromodal as pudesse desagrupar, sendo que outra evolução interessante seria a capacidade de otimizar esta agregação de encomendas de modo a economizar recursos. Uma variante adicional seria a possibilidade de o operador, tomando conhecimento da entrada de novas encomendas no sistema com alguma antecedência, poder alterar os horários dos serviços de transporte de acordo com esta informação e efectuar o transporte com um uso otimizado dos recursos.

Em adição, o modelo tornar-se-ia mais realista se o operador considerasse no seu processo de atribuição de prioridades às encomendas um conjunto de critérios que avaliassem, por um lado, a frequência dos serviços que operam na ligação entre a posição actual e o destino e, por outro, a distância entre estes dois pontos. A adição destes critérios permitiria ao operador afectar a cada encomenda um carácter de urgência que não se baseia simplesmente na flexibilidade do prazo, mas também na dificuldade em cumpri-lo.

Numa consideração final acerca das simplificações efectuadas no desenvolvimento do modelo, seria extremamente enriquecedor dotar o operador sincromodal da capacidade de estabelecer, a qualquer momento, a localização de cada encomenda em circulação na rede, calcular a que velocidade esta se desloca e com isto prever o momento de chegada ao terminal seguinte, simulando-se assim a monitorização contínua das condições do sistema, pela qual o conceito de sincromodalidade é caracterizado.

Numa segunda instância, seria interessante tornar o modelo mais realista, adicionando-se um agente que representasse o cliente, dotando-o de um conjunto de características e comportamentos próprios e possibilitando-o de efectuar alterações aos requisitos das respectivas encomendas. Algumas destas características poderiam, por exemplo, ser a preferência por determinados modos de transporte, o estabelecimento de um valor máximo que está disposto a pagar pelo transporte, de um valor de tolerância para atrasos relativamente ao prazo estabelecido, ou até a existência de uma função de valor que estabelecesse a importância relativa de cada um destes factores para o indivíduo e se o incumprimento de algum destes, ou não, ser compensado por uma melhoria noutra. A existência de clientes mais ou menos flexíveis daria ao operador a oportunidade de negociar o transporte das respectivas encomendas, permitindo-lhe otimizar a agregação e transporte das mesmas.

Finalmente, seria interessante que fosse feita uma abordagem à comparação dos desempenhos da solução sincromodal e da intermodal, mas inseridos num ambiente no qual ambos operam em simultâneo numa mesma cadeia de transporte. Dotando os potenciais clientes de uma memória na qual experiências passadas com cada uma dos operadores afectam a sua “opinião” dos mesmos e, conseqüentemente, a sua propensão para os contactar com pedidos de transporte no futuro, seria possível observar as flutuações da procura a favor de cada operador e aferir se as vantagens teóricas da sincromodalidade são percebidas pelo cliente como tal, bem como qual o nível de adesão à solução sincromodal num contexto de competição.

Referências Bibliográficas

- Ahmed, K., & Warith, A. (2013). *Developing A Framework For Determining The Contribution Of Transportation Project To Sustainable Development*.
- Arnold, P., Peeters, D., & Thomas, I. (2004). Modelling a rail - road intermodal transportation system. *Transportation Research Part E*, 40, 255–270. doi:10.1016/j.tre.2003.08.005
- Baindur, D., & Viegas, J. M. (2011). An agent based model concept for assessing modal share in inter-regional freight transport markets. *Journal of Transport Geography*, 19(6), 1093–1105. doi:10.1016/j.jtrangeo.2011.05.006
- Behdani, B., Fan, Y., Wiegmans, B., & Zuidwijk, R. (2014). *Multimodal Schedule Design for Synchromodal Freight Transport Systems*.
- BG; MCRIT; IST; PLANCO. (2016). *Assessment Impact of the Infrastructure Constraints on Railway Undertakings Operations - Deliverable 3: Cost Analysis by Mode*.
- Bonabeau, E. (2002). Agent-based modeling : Methods and techniques for simulating human systems. In *Adaptative Agents, Intelligence, and Emergent Human Organization: Capturing Complexity through Agent-Based Modelling* (Vol. 99, pp. 7280–7287).
- Borshchev, A. (2013). *The big book of simulation modeling*.
- Borshchev, A., & Filippov, A. (2004). From System Dynamics and Discrete Event to Practical Agent Based Modeling: Reasons, Techniques, Tools. In *The 22nd International Conference of the System Dynamics Society*.
- Brailsford, S., & Hilton, N. (2001). *A Comparison of Discrete Event Simulation and System Dynamics for Modelling Healthcare Systems*.
- Brewer, A. M., Button, K. J., & Hensher, D. A. (1982). *Handbook of Logistics and Supply-Chain Management*.
- Burgh, M. Van Der. (2012). *Synchromodal transport for the horticulture industry*.
- Caris, A., Limbourg, S., Macharis, C., Lier, T. Van, & Cools, M. (2014). Integration of inland waterway transport in the intermodal supply chain : a taxonomy of research challenges. *Journal of Transport Geography*, 41, 126–136. doi:10.1016/j.jtrangeo.2014.08.022
- Caris, A., Macharis, C., & Janssens, G. K. (2013). Decision support in intermodal transport : A new research agenda. *Computers in Industry*, 64(2), 105–112. doi:10.1016/j.compind.2012.12.001
- Grigoryev, I. (2015). *Anylogic 7 in Three Days*.
- Harris, I., Wang, Y., & Wang, H. (2014). ICT in multimodal transport and technological trends: unleashing potential for the future. *International Journal of Production Economics*. doi:10.1016/j.ijpe.2014.09.005
- Ishfaq, R., & Sox, C. R. (2010). Intermodal logistics : The interplay of financial , operational and service issues. *Transportation Research Part E*, 46(6), 926–949. doi:10.1016/j.tre.2010.02.003
- Li, L., Negenborn, R. R., & De Schutter, B. (2013). A general framework for modeling intermodal transport networks. In *10th IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control (ICNSC)* (pp. 579–585). Ieee. doi:10.1109/ICNSC.2013.6548803

- Liotta, G., Stecca, G., & Kaihara, T. (2015). Optimisation of freight flows and sourcing in sustainable production and transportation networks. *International Journal of Production Economics*, 164, 351–365. doi:10.1016/j.ijpe.2014.12.016
- Lowe, D. (2005). *Intermodal Freight Transport*.
- Macharis, C., & Pekin, E. (2009). Assessing policy measures for the stimulation of intermodal transport: a GIS-based policy analysis. *Journal of Transport Geography*, 17(6), 500–508. doi:10.1016/j.jtrangeo.2008.10.004
- Meisel, F., Kirschstein, T., & Bierwirth, C. (2013). Integrated production and intermodal transportation planning in large scale production – distribution-networks. *Transportation Research Part E*, 60, 62–78. doi:10.1016/j.tre.2013.10.003
- Meng, Q., & Wang, X. (2011). Intermodal hub-and-spoke network design: Incorporating multiple stakeholders and multi-type containers. *Transportation Research Part B*, 45(4), 724–742. doi:10.1016/j.trb.2010.11.002
- Nabais, L., Negenborn, R. R., Ben, R. B. C., & Botto, M. A. (2013). A Constrained MPC Heuristic to Achieve a Desired Transport Modal Split at Intermodal Hubs. In *16th International IEEE Annual Conference on Intelligent Transportation Systems* (pp. 714–719).
- Pleszko, J. (2012). Multi-variant configurations of supply chains in the context of synchronomodal transport. *LogForum*, 8(4), 287–295.
- Posset, M., Gronalt, M., & Häuslmayer, H. (2010). *COCKPIIT – Clear, Operable and Comparable Key Performance Indicators for Intermodal Transportation*.
- Reis, V. (2010). *Development of Cargo Business in Combination Airlines: strategy and instrument*.
- Reis, V. (2014). Analysis of mode choice variables in short-distance intermodal freight transport using an agent-based model. *Transportation Research Part A*, 61, 100–120. doi:10.1016/j.tra.2014.01.002
- Reis, V. (2015). Should we keep on renaming a + 35-year-old baby? *Journal of Transport Geography*, 46, 173–179. doi:10.1016/j.jtrangeo.2015.06.019
- Riessen, B. Van, Negenborn, R. R., Dekker, R., & Lodewijks, G. (2013a). *Impact and relevance of transit disturbances on planning in intermodal container networks*.
- Riessen, B. Van, Negenborn, R. R., Dekker, R., & Lodewijks, G. (2013b). *Service network design for an intermodal container network with flexible due dates / times and the possibility of using subcontracted transport*.
- Sadler, I. (2007). *Logistics and Supply Chain Integration*.
- Siebers, P. O., Macal, C. M., Garnett, J., Buxton, D., & Pidd, M. (2010). Discrete-event simulation is dead, long live agent-based simulation! *Journal of Simulation*, 4(3), 204–210. doi:10.1057/jos.2010.14
- Spikker, D. (2014). *Planning Synchronomodal Transport at a Logistics Service Provider*.
- StadieSeifi, M., Dellaert, N. P., Nuijten, W., Van Woensel, T., & Raoufi, R. (2014). Multimodal freight transportation planning: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 233(1), 1–15. doi:10.1016/j.ejor.2013.06.055

- Trip, J. J., & Bontekoning, Y. (2002). Integration of small freight flows in the intermodal transport system. *Journal of Transport Geography*, 10, 221–229.
- Verma, M., Verter, V., & Zufferey, N. (2012). A bi-objective model for planning and managing rail-truck intermodal transportation of hazardous materials. *Transportation Research Part E*, 48(1), 132–149. doi:10.1016/j.tre.2011.06.001
- Woxenius, J. (1998). *Development of small-scale intermodal freight transportation in a systems context*. *Doktorsavhandlingar vid Chalmers Tekniska Hogskola*.
- Woxenius, J. (2007). Alternative transport network designs and their implications for intermodal transshipment technologies. *European Transport*, 35, 27–45.
- Yang, X., Low, J. M. W., Ching, L., & Asia, S. (2011). Analysis of intermodal freight from China to Indian Ocean : A goal programming approach. *Journal of Transport Geography*, 19(4), 515–527. doi:10.1016/j.jtrangeo.2010.05.007

Websites Consultados

- EcoTransit, ecotransit.org, consultado em Agosto de 2016
- Biomass Energy Centre, biomassenergycentre.org.uk, consultado em Agosto de 2016
- Jornal de Notícias, *Banco Mundial e FMI recomendam imposto sobre emissões de CO2*, 2011, <http://www.jn.pt/economia/interior/banco-mundial-e-fmi-recomendam-imposto-sobre-emissoes-de-co2-2016907.html>, consultado em Agosto de 2016
- Atlantic Corridor, corridor4.eu/pt/oss-pt/pap-2017-pt, consultado em Setembro de 2015

Anexos

A1 – Parâmetros de Caracterização dos Serviços de Transporte

Quadro A. 1 . Cálculo dos preços de transporte

Modo de Transporte			Fonte
Rodoviário	Ferroviário	Marítimo	
Capacidade máxima [ton]			<ul style="list-style-type: none"> ▪ Camião e Comboio – (BG; MCRIT; IST; PLANCO, 2016) ▪ Navio – Consulta de perito
40	1400	7000	
Preço de Transporte [€/(ton*km)]			
0,030	0,029	0,018	
Emissões de CO₂ [tonCO₂/(ton*km)]			
7,11E-05	8,56E-06	1,12E-05	ecotransit.org
9,31E-05	1,74E-05	1,01E-04	(Liotta, Stecca, & Kaihara, 2015, p. 358)
1,23E-04	2,28E-05	1,39E-05	biomassenergycentre.org.uk
1,06E-03	1,99E-05	3,58E-05	(Spikker, 2014, p. 50)
3,36E-04	1,72E-05	4,04E-05	Valor médio
Taxa sobre as emissões de CO₂			http://www.jn.pt/economia/interior/banco-mundial-e-fmi-recomendam-imposto-sobre-emissoes-de-co2-2016907.html
25 €/tonCO ₂			
Preço final [€/(ton*km)]			
0,038582	0,029194	0,018732	

Quadro A. 2 – Horários do Serviço Marítimo

Serviço	Origem	Destino	Hora de início
1,0	Lisboa	Bilbao	10:00
2,0	Lisboa	Le Havre	10:30
3,0	Bilbao	Le Havre	11:00

Quadro A. 3 – Horários do Serviço Ferroviário

Serviço	Origem	Destino	Hora de início	Tempo de Transporte (horas)
1	Lisboa	Entroncamento	9:00	1,50
	Entroncamento	Pampilhosa	10:45	2,50
	Pampilhosa	Vilar	13:30	6,00
	Vilar	Irún	20:07	12,05
	Irún	Forbach	16:27	12,50
2	Lisboa	Entroncamento	18:00	2,00
	Entroncamento	Pampilhosa	20:15	1,50
	Pampilhosa	Vilar	22:00	3,50
3	Irún	Forbach	01:10	20,70
4	Irún	Paris	14:39	20,90
5	Irún	Forbach	00:20	19,85
6	Irún	Forbach	12:43	19,95
7	Bayonne	Forbach	01:03	18,68
8	Burgos	Irún	13:13	4,32
9	Bilbao	Ebro	12:37	2,43
	Ebro	Irún	02:42	2,73
10	Le Havre	Metz	16:14	10,42
11	Ebro	Bilbao	19:31	5,77

A2 – Elementos de Programação Java

Propriedades da encomenda:

```
id//identificação da encomenda corresponde ao valor de um contador
weight = uniform(30,300); [tons]
origin = uniform_discr(0,7);//id do terminal de origem
destination = uniform_discr(8,14);//id do terminal de destino
```

Criação de um pedido de transporte:

```
Register Order(){
    agent.SetPickup();//preenche o parâmetro "pickup"
    agent.SetDelivery();//preenche o parâmetro "delivery"
    agent.SetDestination();//preenche o parâmetro "destination"
    /*actualiza o contador de encomendas criadas, cria o vector e preenche-o*/
    count ++;
    double[] orderTemp = new double[15];
    orderTemp [0] = (double) agent.id;//ID encomenda
    orderTemp [1] = (double) agent.origin;//origem
    orderTemp [2] = (double) agent.destination;//destino
    orderTemp [3] = agent.pickupConverted;//tmc
    orderTemp [4] = agent.deliveryConverted;//tmt
    orderTemp [5] = agent.weight;//peso
    orderTemp [6] = (double) agent.position;//posição
    orderTemp [7] = count;//prioridade
    orderTemp [8] = 0.0;//itinerário final
    orderTemp [9] = 0.0;//custo final
    orderTemp [10] = 0.0;//itinerário inicial
    orderTemp [11] = 0.0;//custo inicial
    orderTemp [12] = 0.0;//tempo de entrega inicial
    orderTemp [13] = 0.0;//tempo de início do transporte
    orderTemp [14] = 0.0;//tempo de entrega real
    /*envia o vector preenchido para as listas*/
    orderList.addLast(orderTemp);//lista de encomendas geradas
    operator.existingOrders.addLast(orderTemp);//registo do operador
    send(orderTemp[0], operator); //notifica o operador
}

SetPickup() {
    /*o pedido de transporte pode ser feito com até 3 dias de antecedência*/
    double before = uniform_discr(0,3) * day();
    /*data actual*/
    Date now = new Date();
    now = date();
    /*recolha a partir das 8h e até às 17h*/
    int hour = 0;
    int min = 0;
    int h = getHourOfDay();
    int m = getMinute();
    if(h >= 17){hour = (24 + 8) - h; min = 0 - m;}
    else if (h <= 8){hour = 8 - h; min = 0 - m;}
    double nowConverted = dateToTime(now);
    /*data de recolha corresponde à soma da data actual com a com a antecedência com que o
    pedido foi efectuado*/
    double tmcConverted = nowConverted + before + hour*hour() + min*minute();
    Date tmc = new Date();
    tmc = timeToDate(tmcConverted);
    pickup = tmc;//actualiza o parâmetro "pickup"
    pickupConverted = tmcConverted;//actualiza a variável
}

SetDelivery() {
    /*a janela de transporte tem no mínimo 4 dias, e pode e pode estender-se até 1 semana*/
    double after = uniform_discr(4,7) * day();
    /*data de recolha*/
    Date tmc = new Date();
```

```

tmc = pickup;
double tmcConverted = dateToTime(tmc);
/*entrega até às 18h*/
int hour = 0;
int min = 0;
int h = getHourOfDay(tmc);
int m = getMinute(tmc);
hour = 18 - h;
min = 0 - m;
/*data de entrega corresponde à soma da data de recolha com a janela de transporte*/
double tmtConverted = tmcConverted + after + hour*hour() + min*minute();
Date tmt = new Date();
tmt = timeToDate(tmtConverted);
delivery = tmt;//actualiza o parâmetro "delivery"
deliveryConverted = tmtConverted;//actualiza a variável
}

```

```

SetDestination() { /*Como não existem serviços terrestres no sentido de Paris para LeHavre,
é necessário garantir que apenas encomendas geradas em Lisboa têm LeHavre como destino*/
if(origin != 0 && destination == 11){
int d = destination;
while(d == 11){ d = uniform_discr(8,14); }
destination = d;
} }

```

Início do transporte da encomenda:

```

/*o início do transporte é despoletado por um evento cíclico (repete-se de hora a hora),
que efectua a seguinte verificação*/
int i;
Order orderTemp = new Order();
Date pickupDate = new Date();
Date now = new Date();
now = date();
double planned = 0.0;
double[] list = new double[14];
double l;
/*percorre a lista de elementos dentro de "waitPlanning" e acede ao parâmetro "pickup" de
cada um*/
for(i=0; i<waitPlanning.size(); i++) {
orderTemp = waitPlanning.get(i);
pickupDate = orderTemp.pickup;
/*se a data actual corresponder/exceder a data de "pickup" da encomenda, vai buscar o valor
do itinerário na lista do operador*/
if(now.equals(pickupDate) || now.after(pickupDate)) {
int j;
double id = (double) orderTemp.id;
for (j=0; j<operator.existingOrders.size(); j++){
list = operator.existingOrders.get(j);
l = list[0];
if(l==id){ planned = list[10]; }
} //end for
/*se o itinerário já foi atribuído, a encomenda segue para o terminal de origem*/
if(planned != 0.0) { waitPlanning.free(orderTemp); }
} //end if } //end for

```

Propriedades do Terminal:

```

id//os terminais são numerados de 0 (Lisboa) a 14 (Forbach)
terminalLocation [GISNode]//localização no mapa
openingTime
closingTime

```

Horários no terminal:

```

/*a verificação do estado do terminal é despoletada por um evento cíclico (repete-se a cada
minuto)*/
double hour = (double) getHourOfDay();

```

```

double min = (double) getMinute();
double time = hour + min/60;//conversão para a unidade do modelo (horas)
if(time == openingTime){ open=true; }
else if(time == closingTime){ open=false; }

```

Decisão no terminal:

```

whereTo() { /*verifica se a encomenda atingiu o destino, caso contrário encaminha-a para a
fila de espera adequada*/
if (agent.destination == id) { return deliver; }
else{
int p = agent.pointInTransport;//perna do itinerário da encomenda
String nextPath = new String();
nextPath = agent.transport.get(p);//próxima perna de transporte
String mode = new String ();
mode = nextPath.substring(0,1);//próximo modo a empregar
String r = new String("r");
String f = new String("f");
if(mode.equals(r) == true){ return goToTruck; }
else if(mode.equals(f) == true){ return goToTrain; }
else { return goToShip; }
} //end if
}

```

Recolha de encomendas pelo serviço (Ferroviário e Marítimo):

```

PickupOrder() {
double id = (double) agent.id;//id da encomenda
double s = (double) container.service;//"id" do serviço
double t = (double) container.terminal;//"id" da posição
Date now = new Date();
now = date();
double n = dateToTime(now);
double d1 = n/(1*day());
int d2 = (int) d1;
double day = (double) d2; //dia
int line = 0;//linha nos registos
int flag = 0;// =1 se for encontrada uma correspondência
double[] book = new double[5];
// lê a lista de reservas
for(int i=0; i<book_f.size(); i++){
line = i;
book = book_f.get(line);
//verifica se há correspondência
if(book[0] == day && book[1] == s && book[2] == t && book[3] == id){
flag = 1;
book_f.remove(line);//retira a entrada da lista
i = i - 1;
} //end if } //end for
if(flag==1){return true;}
else{return false;}
}

```

Aviso de encomendas não recolhidas pelo serviço (Ferroviário e Marítimo):

```

MissingOrders() {
double s = (double) container.service;//"id" do serviço
double t = (double) container.terminal;//"id" da posição
Date now = new Date();
now = date();
double n = dateToTime(now);
double d1 = n/(1*day());
int d2 = (int) d1;
double day = (double) d2; //dia
int line = 0;//linha nos registos
int flag = 0;// =1 se for encontrada alguma encomenda por recolher
/*lê a lista de reservas no modo*/
double[] book = new double[5];

```

```

for(int i=0; i<book_f.size(); i++){
line = i;
book = book_f.get(line);
/*verifica se há correspondência no serviço e posição para este dia*/
if(book[0] == day && book[1] == s && book[2] == t){
flag = 1;
for(int j=0; j<operator.existingOrders.size(); j++){
double[] delayedOrder = new double[15];
delayedOrder = operator.existingOrders.get(j);
if(delayedOrder[0] == book[3]){ delayedOrder[8]=0.0; }//apaga itinerário final
}
}
book_f.remove(line);//retira a entrada da lista
i = i - 1;
}
}
if(flag == 1){ send("Delay!", operator); }//envia aviso ao operador
}

```

Aviso de atraso, ou adiantamento, no transporte (exemplo do modo Marítimo):

```

Delay() {
/*a determinação do serviço só é importante no caso dos modos marítimo e ferroviário, pois
estes executarão percursos diferentes consoante o serviço; no modo rodoviário a simples
determinação do terminal final é suficiente para determinar o percurso efectuado*/
int s = container.service;//"id" do serviço
int t = container.terminal;//"id" da posição final
t = t-1;
String path;
int flag = 0;// =1 se for identificado um atraso
/*"nome" da rota concluída (consoante o serviço)*/
if(s == 1){ path = miii1.get(t); }
else if (s == 2){ path = miii2.get(t); }
else{ path = miii3.get(t); }
/*encontrada a ligação percorrida, nos modos rodoviário e marítimo, o tempo esperado de
transporte é calculado com base na distância e na velocidade média de circulação, tal como
ilustrado; já no modo ferroviário, o tempo esperado corresponde ao presente no horário do
serviço*/
routeName = path;
LengthOfRoute();//calcula o comprimento da ligação no mapa
double dist = routeLength;
double time = dist / container.averageSpeed;
/*cálculo do atraso*/
double t1 = container.t1;//momento de saída da origem
double t2 = container.t2;//momento de chegada ao destino
double trip = t2 - t1;//tempo de transporte real
double dif = trip - time;
agent.penalties.addLast(dif);
/*verifica se o atraso é relevante*/
if(dif < -10 || dif > 10){
flag = 1;
for(int j=0; j<operator.existingOrders.size(); j++){
double[] delayedOrder = new double[15];
delayedOrder = operator.existingOrders.get(j);
if(delayedOrder[0] == agent.id){ delayedOrder[8]=0.0; }
}
}
if(flag == 1){ send("Delay!", operator); }//envia aviso ao operador
}
}

```

Decisão no serviço ferroviário:

```

TrainSelectOutput() {
int s = agent.service; //"id" do serviço
int t = agent.terminal; //"id" da posição
/*se a posição corresponder ao último elemento na lista do serviço, devolve "true" e
termina o serviço*/
if(s == 1 && t == fi1.size() - 1){return true;}
else if(s == 2 && t == fi2.size() - 1){return true;}
/*(abreviado - repetição da lógica para os serviços seguintes)*/
else if(s == 11 && t == fi11.size() - 1){return true;}
}

```

```

/*caso contrário, verifica a hora de chegada*/
else{
    int h = selectFrom(train_services_delay)
        .where(train_services_delay.service.eq(agent.service))
        .where(train_services_delay.terminal.eq(agent.terminal))
        .uniqueResult(train_services_delay.hour);
    int m=selectFrom(train_services_delay)
        .where(train_services_delay.service.eq(agent.service))
        .where(train_services_delay.terminal.eq(agent.terminal))
        .uniqueResult(train_services_delay.minute);
/*se chegou após a hora de partida no próximo troço, cancela o serviço*/
    if(getHourOfDay() > h || (getHourOfDay() == h && getMinute() > m) ){
        TrainServiceCanceled(agent);
        return true;
    }//end if
/*caso contrário, continua o serviço*/
    else {return false;}
} //end else
}

TrainServiceCancelled() {
    double s = (double) agent.service; //"id" do serviço
    double t = (double) agent.terminal; //"id" da posição no serviço
    Date now = new Date();
    now = date();
    double n = dateToTime(now);
    double d1 = n/(1*day());
    int d2 = (int) d1;
    double day = (double) d2; //dia
    double nextDay = day + 1;
    int line = 0; //linha nos registos de reservas
    double[] book = new double[5];
/*apaga as reservas deste serviço*/
    if(s == 1){//serviço 1
        if(t != 4){//se não estiver no 4º terminal do serviço (Irún-Hendaye)
/*lê a lista de reservas*/
            for(int i=0; i<book_f.size(); i++){
                line = i;
                book = book_f.get(line);
/*verifica se há correspondência para esse dia*/
                if(book[0] == day && book[1] == s && book[2] != 4){
                    for(int j=0; j<operator.existingOrders.size(); j++){
                        double[] delayedOrder = new double[15];
                        delayedOrder = operator.existingOrders.get(j);
                        if(delayedOrder[0] == book[3]){delayedOrder[8]=0.0;}
                    }//end for
/*verifica se a encomenda já está à espera no terminal, se sim envia-a de volta para o
processamento no terminal*/
                    int order_id = (int) book[3];
                    int terminal = (int) book[2];
                    Order order = findFirst(orders, o -> o.id==order_id);
                    if(order.inQueue = true){
                        for(int a = 0; a>fi1.get(terminal).trainQ.size(); a++){
                            if(fi1.get(terminal).trainQ.get(a) == order){
                                fi1.get(terminal).trainQ.remove(a);
                                fi1.get(terminal).arrivalToTerm.take(order);
                            }//end if }//end for }//end if
/*Retira a entrada da lista*/
                            book_f.remove(line);
                            i = i - 1;
                        }//end if
/*verifica se há correspondência para o dia seguinte no 4º terminal*/
                        else if(book[0] == nextDay && book[1] == s && book[2] == 4){
                            /*(abreviado - repete o processo anterior para encomendas alocadas no dia seguinte e a
recolher no terminal Irún-Hendaye)*/
                        }//end else-if

```

```

/*se estiver no 4º terminal do serviço (Irún-Hendaye)*/
else{
  /*(abreviado - repete o processo anterior para encomendas alocadas no próprio dia e a
  recolher no terminal Irún-Hendaye)*/
} //end else
send("Delay!", operator); //envia aviso ao operador
}

```

Ordenação das encomendas de acordo com os critérios de prioridade:

```

SortOrders(){
  int i;
  int j;
  double temp;
  int flag = 1; // =1 se tiverem sido feitas alterações
  double [] firstOrder = new double[10]; // (n)
  double [] secondOrder = new double[10]; // (n+1)
  /*repete o ciclo enquanto forem detectadas alterações na ordem das encomendas*/
  while (flag != 0) {
    flag = 0;
    for (i=0; i+1<existingOrders.size(); i++) {
      j = i+1;
      /*se o prazo da 2ª for inferior ao da 1ª*/
      if ( existingOrders.get(j)[4] < existingOrders.get(i)[4] ) {
        //Altera prioridade
        temp = existingOrders.get(i)[7];
        existingOrders.get(i)[7] = existingOrders.get(j)[7];
        existingOrders.get(j)[7] = temp;
        //Troca a posição na lista
        firstOrder = existingOrders.get(i);
        secondOrder = existingOrders.get(j);
        existingOrders.set(i, secondOrder);
        existingOrders.set(j, firstOrder);
        flag ++; //Assinala que houve uma alteração
      } //end if
      /*se o prazo for o mesmo, mas o pickup da 2ª for depois do da 1ª*/
      else if ( existingOrders.get(j)[4] == existingOrders.get(i)[4] ) {
        if ( existingOrders.get(j)[3] > existingOrders.get(i)[3] ) {
          /*(abreviado - repete o processo de alteração de prioridade e de posição)*/
        } //end if
      }
      /*se o prazo e pickup forem iguais, mas o peso da 2ª for superior ao da 1ª*/
      else if ( existingOrders.get(j)[3] == existingOrders.get(i)[3] ) {
        if ( existingOrders.get(j)[5] > existingOrders.get(i)[5] ) {
          /*(abreviado - repete o processo de alteração de prioridade e de posição)*/
        } } } } }
    }
  }
}

```

Lógica de planeamento inicial (Comum aos Operadores Intermodal e Sincromodal):

```

ChooseItinerary() {
  int i=0;
  double counter = 0.0;
  double [] orderToPlan = new double[10];
  /*Enquanto o contador é inferior à dimensão da lista*/
  while (i<existingOrders.size()){
    i++;
    counter++;
    int j;
    int k=0;
    /*Procura a que tem prioridade=contador*/
    for(j=0; j<existingOrders.size(); j++) {
      if (counter == existingOrders.get(j)[7]){
        orderToPlan = existingOrders.get(j);
        thisOrder = orderToPlan; //selecciona a encomenda a planear
        processing = true;
        k = j;
      } //end if } //end for
    }
    /*Se não houver itinerário atribuído*/
    if(thisOrder[8]==0.0){

```

```

BestRoute(); //Selecciona o melhor itinerário
Booking(); //reserva os serviços
/*Atualiza os campos na lista existingOrders*/
thisOrder[10]=possibilities.get(0)[0]; //it inicial
thisOrder[11]=possibilities.get(0)[3]; //custo inicial
thisOrder[12]=possibilities.get(0)[2]; //tf inicial
thisOrder[13]=possibilities.get(0)[1]; //ti inicial
existingOrders.get(k)[8] = thisOrder[8]; //it final
existingOrders.get(k)[9] = thisOrder[9]; //custo final
existingOrders.get(k)[10] = thisOrder[10]; //it inicial
existingOrders.get(k)[11] = thisOrder[11]; //custo inicial
existingOrders.get(k)[12] = thisOrder[12]; //tf inicial
existingOrders.get(k)[13] = thisOrder[13]; //ti
/*Atualiza a lista transport no Order*/
thisItinerary=possibilities.get(0);
int id = (int) thisOrder[0];
/*Tem de encontrar o objecto cujo id corresponda ao do thisOrder*/
Order order = findFirst(get_Main().orders, o -> o.id==id);
order.pointInTransport=0;
while(path.isEmpty()==false || order.transport.isEmpty()==false){
    path.clear();
    order.transport.clear();
}
GetPath();
for(int a = 0; a<path.size(); a++){ order.transport.addLast(path.get(a)); }
processing = false;
} //end if
path.clear(); //Limpa a lista de caminhos
possibilities.clear(); //Limpa a lista de possibilidades
possib_serv.clear(); //Limpa a lista
} //end while
planningComplete=true;
}

```

Lógica de replaneamento do Operador Intermodal:

```

ChooseNewItinerary_Intermodal(){
    int i=0;
    double counter = 0.0;
    double [] orderToPlan = new double[10];
    /*Enquanto o i/contador é inferior à dimensão da lista*/
    while (i<existingOrders.size()){
        /*(abreviado - repete o processo de selecção das encomendas na lista)*/
        /*Se não houver itinerário atribuído*/
        if(thisOrder[8]==0.0 && thisOrder[10]==0.0){ /*(abreviado - faz o planeamento normal)*/ }
        /*Se não houver itinerário atribuído, mas já houve*/
        else if(thisOrder[8]==0.0 && thisOrder[10]!=0.0){
            noReplannedItineraries = noReplannedItineraries + 1;
            int id1 = (int) thisOrder[0];
            Order order1 = findFirst(get_Main().orders, o -> o.id==id1);
            if(order1.inTransit==false){
                thisOrder[9]=order1.realCost;
                thisOrder[8]=thisOrder[10]; //o it. mantém-se
            }
            /*atribui os valores do itinerário ao vector*/
            thisItinerary[0]=thisOrder[10];
            thisItinerary[1]=thisOrder[13];
            thisItinerary[2]=0.0;
            thisItinerary[3]=thisOrder[9]; //custos já efectuados
            /*adiciona o itinerário à lista de possibilidades*/
            GetTheRoute();
            GetPath();
            SelectEachLeg();
            Booking(); //reserva os serviços
        }
        /*Atualiza os campos na lista existingOrders*/
        existingOrders.get(k)[8] = thisOrder[8]; //it final
        existingOrders.get(k)[9] = thisOrder[9]; //custo final
    }
    /*Atualiza a lista transport no Order*/
}

```

```

    thisItinerary=possibilities.get(0);
    int id = (int) thisOrder[0];
    Order order = findFirst(get_Main().orders, o -> o.id==id);
    order.pointInTransport=0;
/*Reescreve o itinerário que a encomendas terá de percorrer*/
    while(path.isEmpty()==false || order.transport.isEmpty()==false){
        path.clear();
        order.transport.clear();
    }
    GetPath();
    for(int a = 0; a<path.size(); a++){ order.transport.addLast(path.get(a)); }
/*se a encomenda se encontra numa fila de espera do terminal, envia-a de volta para o
início do processamento*/
    if(order.inQueue==true){
        Terminal t = new Terminal();
        int term = order.position;
        if (term == 0){t = get_Main().t0_Lisboa;}
        else if (term == 1){t = get_Main().t1_Entroncamento;}
        /*(abreviado - repete verificação até encontrar o terminal)*/
        else if (term == 14){t = get_Main().t14_Forbach;}
        for(i=0; i<t.truckQ.size(); i++){
            if(t.truckQ.get(i)==order){t.truckQ.remove(i); break;}
        }
        for(i=0; i<t.trainQ.size(); i++){
            if(t.trainQ.get(i)==order){t.trainQ.remove(i); break;}
        }
        for(i=0; i<t.shipQ.size(); i++){
            if(t.shipQ.get(i)==order){t.shipQ.remove(i); break;}
        }
        t.arrivalToTerm.take(order);
    }//end if }//end if }//end else-if
    path.clear(); //Limpa a lista de caminhos
    possibilities.clear(); //Limpa a lista de possibilidades
    possib_serv.clear(); //Limpa a lista
} //end while
planningComplete=true;
}

```

Lógica de replaneamento e de revisão do Operador Sincromodal:

```

ChooseNewItinerary_Synchromodal(){
    ReplanNewOrders();
    int i=0;
    double counter = 0.0;
    double [] orderToPlan = new double[10];
/*Enquanto o i/contador é inferior à dimensão da lista*/
    while (i<existingOrders.size()){
        /*(abreviado - repete o processo de selecção das encomendas na lista)*/
/*Se não houver itinerário atribuído*/
        if(thisOrder[8]==0.0 && thisOrder[10]==0.0){ /*(abreviado - faz o planeamento normal)*/ }
/*Se não houver itinerário atribuído, mas já houve*/
        else if(thisOrder[8]==0.0 && thisOrder[10]!=0.0){
            noReplannedItineraries = noReplannedItineraries + 1;
            int id1 = (int) thisOrder[0];
            Order order1 = findFirst(get_Main().orders, o -> o.id==id1);
            if(order1.inTransit==false){
                thisOrder[9]=order1.realCost;
                BestRoute(); //Selecciona o melhor itinerário
                Booking(); //reserva os serviços
/*Actualiza os campos na lista existingOrders*/
                existingOrders.get(k)[8] = thisOrder[8]; //it final
                existingOrders.get(k)[9] = thisOrder[9]; //custo final
/*Actualiza a lista transport no Order*/
                thisItinerary=possibilities.get(0);
                int id = (int) thisOrder[0];
                Order order = findFirst(get_Main().orders, o -> o.id==id);
                order.pointInTransport=0;
            }
        }
        i++;
    }
}

```

```

while(path.isEmpty()==false || order.transport.isEmpty()==false){
    path.clear();
    order.transport.clear();
}
GetPath();
for(int a = 0; a<path.size(); a++){ order.transport.addLast(path.get(a)); }
/*se a encomenda se encontra numa fila de espera do terminal, envia-a de volta para o
início do processamento*/
if(order.inQueue==true){
    Terminal t = new Terminal();
    int term = order.position;
    if (term == 0){t = get_Main().t0_Lisboa;}
    else if (term == 1){t = get_Main().t1_Entroncamento;}
    /*(abreviado - repete verificação até encontrar o terminal)*/
    else if (term == 14){t = get_Main().t14_Forbach;}
    for(i=0; i<t.truckQ.size(); i++){
        if(t.truckQ.get(i)==order){t.truckQ.remove(i); break;}
    }
    for(i=0; i<t.trainQ.size(); i++){
        if(t.trainQ.get(i)==order){t.trainQ.remove(i); break;}
    }
    for(i=0; i<t.shipQ.size(); i++){
        if(t.shipQ.get(i)==order){t.shipQ.remove(i); break;}
    }
    t.arrivalToTerm.take(order);
} //end if } //end if } //end else-if
/*se existe um itinerário atribuído*/
else{
    noReviewedItineraries = noReviewedItineraries + 1;
    ReviewItinerary();
}
path.clear(); //Limpa a lista de caminhos
possibilities.clear(); //Limpa a lista de possibilidades
possib_serv.clear(); //Limpa a lista
} //end while
planningComplete=true;
}

ReviewItinerary(){
    int i=0;
    double counter = 0.0;
    double [] orderToPlan = new double[10];
    boolean change;
    int k=0;
    for(i=0; i<existingOrders.size(); i++){
        if(existingOrders.get(i)[0]==thisOrder[0]){
            k=i;
            orderToPlan = existingOrders.get(k);
        } //end if } //end for
    int id1 = (int) thisOrder[0];
    Order order1 = findFirst(get_Main().orders, o -> o.id==id1);
    if(order1.inTransit==false){
        thisOrder[9]=order1.realCost;
        BestRoute(); //Selecciona o melhor itinerário
        change = false;
    }
    /*Verifica se a nova opção é melhor*/
    if(thisOrder[9]<orderToPlan[9] ||
    (thisOrder[9]==orderToPlan[9] && thisOrder[12]<orderToPlan[12])){ change = true; }
    if(change == true){ //se o novo it. é melhor
        RemoveBooking(); //apaga reservas existentes
        Booking(); //reserva os serviços
    }
    /*Actualiza os campos na lista existingOrders*/
    existingOrders.get(k)[8] = thisOrder[8]; //it final
    existingOrders.get(k)[9] = thisOrder[9]; //custo final
    thisItinerary=possibilities.get(0);
    int id = (int) thisOrder[0];
}

```

```

Order order = findFirst(get_Main().orders, o -> o.id==id);
order.pointInTransport=0;
while(path.isEmpty()==false || order.transport.isEmpty()==false){
    path.clear();
    order.transport.clear();
}
GetPath();
for(int a = 0; a<path.size(); a++){ order.transport.addLast(path.get(a)); }
if(order.inQueue==true){
    /*(abreviado - envia encomenda para o início do processo no terminal)*/ }
} } }

```

Funções auxiliares de planeamento:

```

BestRoute(){
    int i;
    double[] routeToCheck = new double[4];
    impossibleDeadline = true;
    GetRoutes(); //cria a lista de itinerários possíveis
    /*Preenche os campos da lista de possibilidades*/
    for(i=0; i<possibilities.size(); i++) {
        routeToCheck = possibilities.get(i);
        thisItinerary = routeToCheck;
        GetPath(); //cria a lista de pernas deste itinerário
        CheckCapacity(); //verifica se há restrições de peso
    /*Verifica se há restrição de peso*/
        if(prob=="yes"){ //peso>pesoMáx de um dos modos
            possibilities.remove(i);
            path.clear();
            i=i-1;} //o antigo (i+1) é o novo (i)
        else { //peso não é restrição
            SelectEachLeg(); //Selecciona cada perna (tem o ciclo)
            possibilities.get(i)[1]=thisItinerary[1];//ti
            possibilities.get(i)[2]=thisItinerary[2];//tf
            possibilities.get(i)[3]=thisItinerary[3];//custo
            path.clear();
        } //end else } //end for
    /*por segurança, verificar se é possível cumprir o prazo*/
    for(int j = 0; j<possibilities.size(); j++){
        double tf = possibilities.get(j)[2];
        double tmt = thisOrder[4];
        if(tf < tmt){ impossibleDeadline=false; }
    }
    /*se é possível cumprir o prazo, apaga as soluções que não o cumprem*/
    for(int k = 0; k<possibilities.size(); k++){
        double tf = possibilities.get(k)[2];
        double tmt = thisOrder[4];
        if(impossibleDeadline==false && tmt < tf){
            possibilities.remove(k);
            k=k-1; //o antigo (i+1) é o novo (i)
        } //end if } //end for
    SortPossibilities(); //ordena por custo
    thisOrder[8]=possibilities.get(0)[0]; //selecciona a 1ª
    thisOrder[9]=possibilities.get(0)[3]; //custo
}

SortPossibilities(){
    int i;
    int j;
    double temp;
    int flag = 1;
    double [] firstSolution = new double[4]; //(n)
    double [] secondSolution = new double[4]; //(n+1)
    /*se não existe a possibilidade de cumprir o prazo, escolhe a solução mais rápida*/
    if(impossibleDeadline==true){
        while (flag != 0) {
            flag = 0;

```

```

for (i=0; i+1<possibilities.size(); i++) {
    j = i+1;
    if (possibilities.get(j)[2]<possibilities.get(i)[2]) {
        firstSolution= possibilities.get(i);//Troca a posição na lista
        secondSolution = possibilities.get(j);
        possibilities.set(i, secondSolution);
        possibilities.set(j, firstSolution);
        flag ++;//Assinala que houve uma alteração
    }//end if }//end for }//end while }//end if
/*se existe a possibilidade de cumprir o prazo, escolhe a opção mais barata*/
else{
    while (flag != 0) {
        flag = 0;
        for (i=0; i+1<possibilities.size(); i++) {
            j = i+1;
            if (possibilities.get(j)[3]<possibilities.get(i)[3]) {
                firstSolution= possibilities.get(i);//Troca a posição na lista
                secondSolution = possibilities.get(j);
                possibilities.set(i, secondSolution);
                possibilities.set(j, firstSolution);
                flag ++;//Assinala que houve uma alteração
            } } } }
}

GetRoutes(){
listOfRoutes.readFile();
int i;
/*Selecciona os itinerários que estabelecem a ligação entre a origem e o destino da
encomenda em causa*/
for (i=2; i < 774; i++) {
    double origin = listOfRoutes.getCellNumericValue(1,i,3);
    double destination = listOfRoutes.getCellNumericValue(1,i,4);
    /*Verifica que a origem e destino correspondem (vai buscar o valor [6]=posição, ao invés
do valor [1]=origem, para que esta fórmula seja aplicável também na revisão do
planeamento)*/
    if(origin==thisOrder[6] && destination==thisOrder[2]){
        double[] thisRoute = new double[4];
        double name = listOfRoutes.getCellNumericValue(1,i,1);
        thisRoute[0] = name;
        possibilities.addLast(thisRoute);//adiciona o itinerário
    } } }

GetPath(){
double name = thisItinerary[0];
Double n = new Double(name);
int l=n.intValue();
int i;
String path1 = new String();
for(i=0; i<l-1; i++){ listOfPaths.readLine(); }
String line = listOfPaths.readLine();
for(String part : line.split(" ")){ path1 = part; }
for(String word : path1.split(" ")){ path.addLast(word); }
listOfPaths.close();
}

CheckCapacity(){
double unitaryWeight; //pesoMáx/veículo
double weight=thisOrder[5]; //peso da encomenda
int i;
//Percorre a sequência de pernas
for(i=0; i<path.size(); i++){
    thisLeg = path.get(i);
    String p = thisLeg; //qual é o modo?
    boolean r = p.startsWith("r");
    boolean f = p.startsWith("f");
    boolean m = p.startsWith("m");
    //Verificação de problemas em cada perna
}
}

```

```

    if(r=true){prob="no";} //se for rodoviário
    else if(f=true){ //se for ferroviário
        unitaryWeight = train_maxWeight;
        if(weight>unitaryWeight){prob="yes";}
        else {prob="no";}
    }
    else if(m=true){ /*(abreviado - repete processo para o modo marítimo)*/ }
} }

SelectEachLeg(){
    int id = (int) thisOrder[0];
    Order order = findFirst(get_Main().orders, o -> o.id==id);
    int p = order.pointInTransport; //inicialmente é 0
    int i=0;
    tf=0; //tempo de fim
    ta=0; //tempo actual
    double tmc=thisOrder[3];
    Date now = new Date();
    now = date();
    double nowConverted = dateToTime(now);
    /*se o tempo actual for inferior ao tmc, começa a contar a partir do tmc; c.c., começa a
    contar agora*/
    if(nowConverted < tmc){ thisItinerary[1]=tmc; ta=tmc + 0.25; } //delay = 15 min
    else{ thisItinerary[1]=nowConverted; ta=nowConverted + 0.25; } //delay = 15 minutos
    /*percorrendo a sequência de pernas*/
    for(i=p; i<path.size(); i++){
        thisLeg = path.get(i);
        get_Main().routeName=thisLeg;
        get_Main().LengthOfRoute();
        legLength=get_Main().routeLength;
        Cost(); //custo da perna
        TransportTime(); //tempo de transporte da perna
        ta = ta + 0.25;
    }
    tf = ta;
    thisItinerary[2]=tf;
}

Cost(){
    double unitaryCost; //preço/(veículo*km)
    double unitaryWeight; //pesoMáx/veículo
    double weight=thisOrder[5]; //peso da encomenda
    double dist=legLength; //distância a percorrer
    double transportCost=0; //custo do transporte
    String p = thisLeg; //qual é o modo?
    boolean r = p.startsWith("r");
    boolean f = p.startsWith("f");
    boolean m = p.startsWith("m");
    if(r=true){ //se for rodoviário
        unitaryCost = truck_unitaryPrice;
        unitaryWeight = truck_maxWeight;
        transportCost = dist * unitaryCost * (weight);
    }
    else if(f=true){ /*(abreviado - repete para o modo ferroviário)*/ }
    else if(m=true){ /*(abreviado - repete para o modo ferroviário)*/ }
    thisItinerary[3] = thisItinerary[3] + transportCost;
}

TransportTime(){
    String p = thisLeg; //qual é o modo?
    boolean r = p.startsWith("r");
    boolean f = p.startsWith("f");
    boolean m = p.startsWith("m");
    /*selecciona o "dia" no modelo*/
    double d1 = ta/(1*day()); int d2 = (int) d1; day = (double) d2;
    /*se for por rodovia, depende da velocidade*/
}

```

```

    if (r==true){ta = (ta + legLength/truck_averageSpeed);}
/*se o for um serviço*/
    else {
/*cria nova linha nos serviços*/
        double[] service = new double[5];
        service[0] = thisItinerary[0]; //id do itinerário
        possib_serv.addLast(service);
        double mode;
        NextService();
/*serviço ferroviário tem hora de chegada*/
        if (f==true) {ta = (ta + services.get(sIndex)[3]); mode=1.0;}
/*serviço marítimo só tem velocidade*/
        else {ta = (ta + legLength/ship_averageSpeed); mode=2.0;}
/*anota o serviço na colecção*/
        int line = possib_serv.size()-1;
        possib_serv.get(line)[1] = mode;
        possib_serv.get(line)[2] = day;
        possib_serv.get(line)[3] = services.get(sIndex)[0];
        possib_serv.get(line)[4] = services.get(sIndex)[1];
    }//end else
    sIndex=0;
    aIndex=0;
    services.clear();
}

NextService(){
    String p = thisLeg; //qual é o modo?
    boolean f = p.startsWith("f");
    boolean m = p.startsWith("m");
    double ta2 = ta-(day*day()); //horas do dia
    if(f==true){ //se o serviço for ferroviário
        servicesRail.readFile(); //vai ao excel correspondente
/*cria a lista de serviços existentes para essa rota*/
        for (int i=2; i<20; i++){
            double[] s = new double[4];
            String route = servicesRail.getCellStringValue(1,i,2);
            if(route.equals(thisLeg)){
                s[0]=servicesRail.getCellNumericValue(1,i,1); //serviço
                s[1]=servicesRail.getCellNumericValue(1,i,3); //posição
                s[2]=servicesRail.getCellNumericValue(1,i,5); //horas
                s[3]=servicesRail.getCellNumericValue(1,i,6); //tempo
                services.add(s);
            }//end if }//end for }//end if
        }
    }
    else { //se o serviço for marítimo
        servicesSea.readFile(); //vai ao excel correspondente
/*cria a lista de serviços existentes para essa rota*/
        for (int i=2; i<5; i++){
            double[] s = new double[4];
            String route = servicesSea.getCellStringValue(1,i,2);
            if(route.equals(thisLeg)){
                s[0]=servicesSea.getCellNumericValue(1,i,1); //serviço
                s[1]=servicesSea.getCellNumericValue(1,i,3); //posição
                s[2]=servicesSea.getCellNumericValue(1,i,5); //horas
                services.add(s);
            }//end if }//end for }//end else
        }
    }
    SortServices(); //ordena os serviços pelo horário
/*Verifica os serviços desse dia*/
    for(int j=0; j<services.size(); j++){
        double[] s2 = new double[4];
        s2 = services.get(j);
        aIndex = j; //anota o índice na lista
/*Se o serviço ainda não foi efectuado nesse dia, verifica a disponibilidade*/
        if(ta2 <= s2[2]){Availability();}
/*Se há disponibilidade, termina o ciclo*/
        if (available == true) {
            sIndex = j; //anota o índice na lista

```

```

    ta = ta+(s2[2]-ta2);//tempo actual é a hora de início
    break;}
} //end for
/*Se o ciclo terminou sem haver capacidade, repete para o dia seguinte*/
if (available == false){
    while (available != true) {
        day=day + 1.0; //dia seguinte
        ta=day * day(); //ta(h) = nº de dias * 24horas
        ta2=0;//ta2 = meia-noite
        for(int j=0; j<services.size(); j++){
            double[] s2 = new double[4];
            s2 = services.get(j);
            aIndex = j; //anota o índice na lista
            Availability();
            if (available == true) {
                sIndex = j; //anota o índice na lista
                ta=ta+(s2[2]-ta2); //tempo actual é a hora de início
                break;
            } //end if } //end for } //end while } //end if
        available=false;
    }

SortServices(){
    int i;
    int j;
    double temp;
    int flag = 1;
    double [] firstService = new double[5]; //(n)
    double [] secondService = new double[5]; //(n+1)
    while (flag != 0) {
        flag = 0;
        for (i=0; i+1<services.size(); i++) {
            j = i+1;
            if ( services.get(j)[2] < services.get(i)[2] ) {
                /*(abreviado - troca posição na lista e assinala a alteração)*/
            } } }

Availability(){
    int i = aIndex;
    String p = thisLeg; //qual é o modo?
    boolean f = p.startsWith("f"); boolean m = p.startsWith("m");
    double weight = 0;
    double[] serv = new double[4];
    serv = services.get(i);
    double[] book = new double[5];
    available = false;
    /*se for um serviço ferroviário, verifica a lista de reservas de transporte ferroviário*/
    if (f==true){
        for (int j=0; j<get_Main().book_f.size(); j++){
            book = get_Main().book_f.get(j);
            /*se a data, serviço e rota corresponderem à pretendida, calcula o peso que já foi reservado*/
            if(day==book[0] && serv[0]==book[1] && serv[1]==book[2]){ weight = weight + book[4]; }
        }
        /*verifica se há peso disponível para a encomenda*/
        weight = weight + thisOrder[5];
        if(weight<train_maxWeight){available=true;}
    }
    /*se for um serviço marítimo, verifica a lista de reservas de transporte marítimo*/
    else { /*(abreviado - repete processo para o serviço marítimo)*/ }
}

SortPossibilities(){
    int i;
    int j;
    double temp;

```

```

int flag = 1;
double [] firstSolution = new double[4]; //(n)
double [] secondSolution = new double[4]; //(n+1)
/*se não existe a possibilidade de cumprir o prazo, escolhe a solução mais rápida*/
if(impossibleDeadline==true){
while (flag != 0) {
flag = 0;
for (i=0; i+1<possibilities.size(); i++) {
j = i+1;
if (possibilities.get(j)[2]<possibilities.get(i)[2]) {
/*(abreviado - troca a posição na lista e assinala a alteração)*/ }
} //end for } //end while } //end if
/*se existe a possibilidade de cumprir o prazo, escolhe a opção mais barata*/
else{
while (flag != 0) {
flag = 0;
for (i=0; i+1<possibilities.size(); i++) {
j = i+1;
if (possibilities.get(j)[3]<possibilities.get(i)[3]) {
/*(abreviado - troca a posição na lista e assinala a alteração)*/}
} } } }

Booking(){
double itin = possibilities.get(0)[0]; //it. escolhido
double[] book = new double[5];
double[] service = new double[5];
for(int i=0; i<possib_serv.size(); i++){
service = possib_serv.get(i); //linha na lista
if(service[0]==itin){ //se o itinerário for o escolhido
book[0]=service[2]; //dia
book[1]=service[3]; //serviço
book[2]=service[4]; //posição
book[3]=thisOrder[0]; //id da encomenda
book[4]=thisOrder[5]; //peso da encomenda
if(service[1]==1.0){ get_Main().book_f.addLast(book);}
else {get_Main().book_m.addLast(book);}
} } }

RemoveBooking(){
double id = thisOrder[0];
double[] line = new double[5];
/*apaga reservas nos serviços ferroviários*/
for(int i = 0; i<get_Main().book_f.size(); i++){
line = get_Main().book_f.get(i);
if(line[3]==id){ get_Main().book_f.remove(line); i = i - 1; }
}
/*apaga reservas nos serviços marítimos*/
for(int i = 0; i<get_Main().book_m.size(); i++){
/*(abreviado - repete processo para os serviços marítimos)*/ }
}

GetTheRoute(){
listOfRoutes.readFile();
int i;
/*Selecciona os itinerários que estabelecem a ligação entre a origem e o destino da
encomenda em causa*/
for (i=2; i < 760; i++) {
double name;
name = listOfRoutes.getCellNumericValue(1,i,1);
/*Verifica que a origem e destino correspondente (vai buscar o valor [6]=posição, ao invés
do valor [1]=origem, para que esta fórmula seja aplicável também na revisão do
planeamento)*/
if(name==thisOrder[10]){
double[] thisRoute = new double[4];
thisRoute[0] = name;
possibilities.addLast(thisRoute); //adiciona o itinerário
}
}
}

```

```

    } } }

Delay(){
    double [] order = new double[15];
    /*apaga as reservas da encomenda que estava a ser planeada, bem como o itinerário
    atribuído*/
    if(processing == true){
        RemoveBooking();
        double id = thisOrder[0];
        for(int i = 0; i<existingOrders.size(); i++){ order = existingOrders.get(i);
            if(order[0]==id){
                order[8]=0.0;
                order[9]=0.0;
                order[10]=0.0;
                order[11]=0.0;
                order[12]=0.0;
                order[13]=0.0;
            } } } }

RemoveBooking(){/*apaga as reservas das encomendas que estão atrasadas*/
    for(int i = 0; i<existingOrders.size(); i++){
        order = existingOrders.get(i);
        if(order[8]==0.0 || order[10]!= 0.0){ thisOrder = order; RemoveBooking(); }
    } }

ReplanNewOrders(){
    double [] order = new double[15];
    Date now = new Date();
    now = date();
    double time = dateToTime(now);
    for(int i = 0; i>existingOrders.size(); i++){
        order = existingOrders.get(i);
        /*se a encomenda ainda não foi recolhida, pode alterar-se o planeamento inicial*/
        if(time < order[3]){
            thisOrder = order;
            RemoveBooking();
            order[8]=0.0;
            order[9]=0.0;
            order[10]=0.0;
            order[11]=0.0;
            order[12]=0.0;
            order[13]=0.0;
        } } }

```

A3 – Resultados da Simulação

Quadro A. 4 – Alteração de parâmetros nos casos testados

Parâmetros alterados	Caso 0	Caso A
Período de Simulação	01/01/16 - 01/01/17 (8684 h)	01/01/16 - 01/05/16 (2904 h)
Geração de encomendas	Normal(9;0,5)	Normal(3;0,5)
Antecedência do pedido	before=uniform_discr(0,3)*day()	before=uniform_discr(0,3)*day()
Janela de transporte	after=uniform_discr(4,7)*day()	after=uniform_discr(4,7)*day()
Vel. Circulação – Camião	Triangular(45;70;85)	Triangular(45;70;85)
Vel. Circulação – Navio	Triangular(15;30;50)	Triangular(15;30;50)
T. Trânsito – Comboio	Triangular(0,97t;t;1,1t)	Triangular(0,97t;t;1,1t)
Parâmetros alterados	Caso B	Caso C
Período de Simulação	01/01/16 - 01/05/16 (2904 h)	01/01/16 - 01/05/16 (2904 h)
Geração de encomendas	Normal(3;0,5)	Normal(3;0,5)
Antecedência do pedido	before=uniform_discr(0,3)*day()	before=uniform_discr(0,1)*day()
Janela de transporte	after=uniform_discr(2,5)*day()	after=uniform_discr(2,5)*day()
Vel. Circulação – Camião	Triangular(45;70;85)	Triangular(45;70;85)
Vel. Circulação – Navio	Triangular(15;30;50)	Triangular(15;30;50)
T. Trânsito – Comboio	Triangular(0,97t;t;1,1t)	Triangular(0,97t;t;1,1t)
Parâmetros alterados	Caso D	Caso 1
Período de Simulação	01/01/16 - 01/05/16 (2904 h)	01/01/16 - 01/05/16 (2904 h)
Geração de encomendas	Normal(3;0,5)	Normal(3;0,5)
Antecedência do pedido	before=uniform_discr(0,1)*day()	before=uniform_discr(0,1)*day()
Janela de transporte	after=uniform_discr(0,2)*day()	after=uniform_discr(0,2)*day()
Vel. Circulação – Camião	Triangular(45;70;85)	Normal(70;6)
Vel. Circulação – Navio	Triangular(15;30;50)	Normal(30;7)
T. Trânsito – Comboio	Triangular(0,97t;t;1,1t)	Triangular(0,9t;t;1,2t)

Quadro A. 5 Resultados globais para cada cenário e cada caso testado

Indicador	Intermodal	Sincromodal 1.0	Sincromodal 2.0
Caso 0			
Encomendas entregues	98,38%	98,58%	98,75%
Replaneamentos Revisões	104 311 0	73 874 516 088	247 083 467 004
Alteração de itinerário	0%	1,66%	2,64%
Variação do custo total	0%	+0,06%	+0,18%
Variação do custo por encomenda	0% (0€)	+0,20% (+4,04€)	+0,30% (+12,77€)
Cumprimento da previsão	4,15%	4,33%	4,24%
Cumprimento do prazo	98,99%	99,21%	99,87%
Caso A			
Encomendas entregues	97,26%	98,87%	97,09%
Replaneamentos Revisões	297 829 0	368 162 136 297	452 143 258 942
Alteração de itinerário	0%	2,16%	3,08%
Variação do custo total	0%	+0,16%	+0,13%
Variação do custo por encomenda	0% (0€)	+0,26% (+11,50€)	+0,29% (+9,86€)
Cumprimento da previsão	2,74%	2,85%	2,74%
Cumprimento do prazo	99,95%	99,97%	99,76%
Caso B			
Encomendas entregues	97,26%	97,29%	97,36%
Replaneamentos Revisões	316 809 0	222 018 98 280	268 796 162 689
Alteração de itinerário	0%	2,31%	2,31%
Variação do custo total	0%	+0,18%	+0,07%
Variação do custo por encomenda	0% (0€)	+0,25% (+13,10€)	+0,36% (+5,03€)
Cumprimento da previsão	2,83%	3,05%	2,79%
Cumprimento do prazo	99,34%	99,52%	99,09%
Caso C			
Encomendas entregues	97,73%	98,04%	97,84%
Replaneamentos Revisões	280 988 0	182 175 191 580	259 793 278 070
Alteração de itinerário	0%	3,16%	4,25%
Variação do custo total	0%	+0,20%	+0,28%
Variação do custo por encomenda	0% (0€)	+0,29% (+14,23€)	+0,38% (+20,27€)
Cumprimento da previsão	2,75%	3,27%	2,98%
Cumprimento do prazo	99,42%	99,68%	99,33%
Caso D			
Encomendas entregues	97,86%	98,16%	98,21%
Replaneamentos Revisões	43 593 0	39 564 238 728	3 804 289 270
Alteração de itinerário	0%	2,84%	3,53%
Variação do custo total	0%	+0,18%	+0,23%
Variação do custo por encomenda	0% (0€)	+0,24% (+12,53€)	+0,35% (+16,91€)
Cumprimento da previsão	3,08%	2,74%	3,87%
Cumprimento do prazo	54,61%	56,74%	57,67%
Caso 1			
Encomendas entregues	97,09%	96,69%	98,27%
Replaneamentos Revisões	19 387 0	4 571 347 542	4 405 296 912
Alteração de itinerário	0%	3,57%	4,04%
Variação do custo total	0%	+0,23%	+0,34%
Variação do custo por encomenda	0% (0€)	+0,37% (+16,39€)	+1,97% (+23,81€)
Cumprimento da previsão	3,54%	3,58%	6,16%
Cumprimento do prazo	54,22%	57,01%	58,93%

Quadro A. 6 – Resultados relativos ao cumprimento dos prazos para cada cenário e cada caso testado

Modelo	Mínimo	1º Quartil	Mediana	3º Quartil	P.99	Máximo	
Caso 0	<i>Desvio absoluto em relação à previsão</i>						
	Intermodal	-96,39	+2,36	+6,47	+10,79	+21,80	+68,20
	Sincromodal 1.0	-112,04	+2,38	+6,49	+10,85	+22,54	+191,35
	Sincromodal 2.0	-111,71	+2,39	+6,49	+10,79	+22,10	+707,55
	<i>Desvio percentual em relação à previsão</i>						
	Intermodal	-88,62%	+17,60%	+33,57%	+48,75%	+124,54%	+391,57%
	Sincromodal 1.0	-92,45%	+17,64%	+33,91%	+49,01%	+125,36%	+1109,71%
	Sincromodal 2.0	-92,93%	+18,80%	+34,02%	+48,90%	+125,14%	+2339,22%
	<i>Desvio absoluto em relação ao prazo</i>						
	Intermodal	-175,83	-137,96	-113,44	-89,47	+0,85	+7034,90
	Sincromodal 1.0	-175,81	-138,07	-114,21	-89,68	-28,15	+7397,37
	Sincromodal 2.0	-175,83	-138,78	-115,09	-90,51	-55,76	+567,19
	<i>Desvio percentual em relação ao prazo</i>						
	Intermodal	-99,29%	-88,23%	-80,56%	-73,24%	+0,56%	+5244,24%
Sincromodal 1.0	-99,42%	-88,17%	-80,51%	-73,32%	-21,78%	+4803,49%	
Sincromodal 2.0	-99,39%	-88,31%	-81,07%	-73,72%	-52,02%	+332,47%	
Caso A	<i>Desvio absoluto em relação à previsão</i>						
	Intermodal	-86,82	+2,32	+6,61	+10,84	+22,28	+111,65
	Sincromodal 1.0	-91,68	+2,63	+7,15	+11,02	+21,53	+142,74
	Sincromodal 2.0	-113,46	+2,74	+7,02	+10,81	+21,29	+160,19
	<i>Desvio percentual em relação à previsão</i>						
	Intermodal	-84,53%	+18,18%	+34,31%	+49,88%	+123,41%	+1053,32%
	Sincromodal 1.0	-83,38%	+20,30%	+35,66%	+51,24%	+122,73%	+451,34%
	Sincromodal 2.0	-91,03%	+20,30%	+34,63%	+49,87%	+121,84%	+1133,46%
	<i>Desvio absoluto em relação ao prazo</i>						
	Intermodal	-175,80	-139,33	-113,82	-90,51	-55,95	+5,73
	Sincromodal 1.0	-175,77	-139,33	-116,05	-90,85	-55,41	+3,46
	Sincromodal 2.0	-175,83	-139,47	-114,64	-89,85	-55,64	+18,52
	<i>Desvio percentual em relação ao prazo</i>						
	Intermodal	-99,26%	-88,51%	-80,74%	-73,53%	-52,54%	+5,83%
Sincromodal 1.0	-99,31%	-88,11%	-80,85%	-73,72%	-52,71%	+2,03%	
Sincromodal 2.0	-99,38%	-88,02%	-80,65%	-73,54%	-51,98%	+18,20%	
Caso B	<i>Desvio absoluto em relação à previsão</i>						
	Intermodal	-110,53	+2,44	+6,44	+10,78	+21,73	+110,73
	Sincromodal 1.0	-107,01	+2,53	+6,60	+10,83	+22,18	+88,32
	Sincromodal 2.0	-95,07	+2,55	+6,78	+10,82	+21,54	+112,4
	<i>Desvio percentual em relação à previsão</i>						
	Intermodal	-82,63%	+19,18%	+35,39%	+49,51%	+123,39%	+494,36%
	Sincromodal 1.0	-78,69%	+19,08%	+34,49%	+49,44%	+124,54%	+909,82%
	Sincromodal 2.0	-80,47%	+19,66%	+35,20%	+49,32%	+121,55%	+533,92%
	<i>Desvio absoluto em relação ao prazo</i>						
	Intermodal	-127,82	-91,03	-66,39	-42,09	-5,75	+57,25
	Sincromodal 1.0	-127,79	-91,99	-68,35	-43,97	-7,74	+37,52
	Sincromodal 2.0	-127,82	-89,69	-66,75	-43,19	-7,78	+45,78
	<i>Desvio percentual em relação ao prazo</i>						
	Intermodal	-99,20%	-82,88%	-71,72%	-57,53%	-8,45%	+111,48%
Sincromodal 1.0	-98,97%	-82,86%	-71,80%	-57,99%	-14,90%	+74,27%	
Sincromodal 2.0	-99,23%	-82,09%	-71,59%	-58,11%	-14,36%	+93,23%	
Caso C	<i>Desvio absoluto em relação à previsão</i>						
	Intermodal	-41,96	+2,53	+6,70	+10,92	+22,22	+27,63
	Sincromodal 1.0	-65,82	+2,37	+6,73	+10,81	+22,15	+18,68
	Sincromodal 2.0	-58,23	+2,64	+6,95	+11,17	+21,79	+859,87
<i>Desvio percentual em relação à previsão</i>							

	Intermodal	-59,34%	+19,06%	+34,69%	+49,80%	+123,63%	+639,55%
	Sincromodal 1.0	-79,19%	+18,81%	+34,69%	+49,86%	+123,65%	+386,84%
	Sincromodal 2.0	-49,24%	+19,64%	+35,24%	+50,04%	+123,69%	+2644,86%
	<i>Desvio absoluto em relação ao prazo</i>						
	Intermodal	-127,82	-89,99	-66,15	-41,76	-7,68	+27,63
	Sincromodal 1.0	-127,81	-90,24	-66,45	-43,36	-7,89	+18,68
	Sincromodal 2.0	-127,80	-90,27	-65,85	-41,77	-8,73	+859,87
	<i>Desvio percentual em relação ao prazo</i>						
	Intermodal	-98,96%	-82,24%	-71,43%	-56,71%	-12,64%	+47,64%
Sincromodal 1.0	-98,96%	-82,56%	-71,37%	-57,82%	-14,27%	+35,68%	
Sincromodal 2.0	-99,06%	-81,61%	-71,12%	-57,21%	-15,32%	+811,20%	
Caso D	<i>Desvio absoluto em relação à previsão</i>						
	Intermodal	-64,65	+2,39	+6,34	+10,55	+20,63	+40,14
	Sincromodal 1.0	-63,54	+2,24	+5,75	+10,52	+20,10	+47,04
	Sincromodal 2.0	-73,56	+2,27	+6,42	+10,68	+20,72	+53,22
	<i>Desvio percentual em relação à previsão</i>						
	Intermodal	-60,61%	+17,04%	+32,11%	+47,57%	+122,20%	+379,59%
	Sincromodal 1.0	-69,63%	+17,64%	+32,97%	+47,62%	+123,94%	+363,33%
	Sincromodal 2.0	-85,98%	+17,90%	+33,79%	+48,74%	+120,20%	+375,93%
	<i>Desvio absoluto em relação ao prazo</i>						
	Intermodal	-55,77	-22,54	-4,22	+12,79	+82,32	+2565,01
	Sincromodal 1.0	-55,83	-23,16	-4,80	+10,28	+146,37	+1711,11
	Sincromodal 2.0	-55,81	-23,61	-6,07	+10,90	+36,06	+91,24
	<i>Desvio percentual em relação ao prazo</i>						
	Intermodal	-96,99%	-50,21%	-14,70%	+116,98%	+1893,91%	+7881,98%
	Sincromodal 1.0	-97,55%	-53,60%	-18,06%	+75,21%	+1704,81%	+36871,31%
Sincromodal 2.0	-98,00%	-54,59%	-21,46%	+75,66%	+1174,14%	+6568,64%	
Caso 1	<i>Desvio absoluto em relação à previsão</i>						
	Intermodal	-69,98	+1,42	+4,32	+8,95	+22,05	+46,46
	Sincromodal 1.0	-57,68	+1,32	+4,22	+8,98	+20,44	+40,79
	Sincromodal 2.0	-83,07	+1,28	+4,09	+9,14	+21,30	+85,79
	<i>Desvio percentual em relação à previsão</i>						
	Intermodal	-66,06%	+11,41%	+27,37%	+41,73%	+122,86%	+363,34%
	Sincromodal 1.0	-72,12%	+10,56%	+27,11%	+40,16%	+116,96%	+141,90%
	Sincromodal 2.0	-86,48%	+12,23%	+28,28%	+41,40%	+123,14%	+373,00%
	<i>Desvio absoluto em relação ao prazo</i>						
	Intermodal	-55,77	-23,02	-3,92	+13,38	+126,35	+262,58
	Sincromodal 1.0	-55,80	-23,75	-7,69	+9,73	+124,84	+504,86
	Sincromodal 2.0	-55,80	-24,25	-7,70	+8,17	+35,15	+123,84
	<i>Desvio percentual em relação ao prazo</i>						
	Intermodal	-97,65%	-54,02%	-14,52%	+124,68%	+1481,13%	+8475,95%
	Sincromodal 1.0	-97,96%	-54,71%	-22,80%	+81,16%	+1714,92%	+3814,12%
Sincromodal 2.0	-98,06	-54,82%	-22,82%	+60,34%	+1190,83%	+7832,19%	

Quadro A. 7 – Elementos introduzidos na reconfiguração do modelo

Atraso na Comunicação [horas]	Intermodal	Sincromodal 1.0	Sincromodal 2.0
Notificação do Operador	Normal(1,5; 0,2)	Imediata	Imediata
Reorganização de Recursos	Normal(2; 0,5)	Normal(2;0,5)	Imediata

Quadro A. 8 - Resultados globais para cada cenário e caso testado, após a reconfiguração do modelo

Indicador	Intermodal	Sincromodal 1.0	Sincromodal 2.0
Caso 0.a			
Encomendas entregues	90,24%	96,84%	98,19%
Replaneamentos Revisões	398 498 0	539 093 234 483	234 420 278 580
Alteração de itinerário	0%	2,35%	2,70%
Variação do custo total	0%	-0,15%	+0,21%
Variação do custo por encomenda	0% (0€)	-0,03% (-10,79€)	+0,27% (+14,65€)
Cumprimento da previsão	4,19%	4,08%	4,64%
Cumprimento do prazo	99,73%	99,68%	99,92%
Caso 1.a			
Encomendas entregues	92,64%	97,15%	98,29%
Replaneamentos Revisões	62 138 0	14 317 489 240	49 028 221 495
Alteração de itinerário	0%	2,10%	3,70%
Variação do custo total	0%	+0,13%	+0,28%
Variação do custo por encomenda	0% (0€)	+0,26% (+9,67€)	+1,15% (+20,01€)
Cumprimento da previsão	3,97%	4,07%	4,55%
Cumprimento do prazo	54,12%	56,36%	58,29%

Quadro A. 9 - Resultados relativos ao cumprimento dos prazos para cada cenário e cada caso testado, após a reconfiguração do modelo

Modelo	Mínimo	1º Quartil	Mediana	3º Quartil	P.99	Máximo	
Caso 0.a	<i>Desvio absoluto em relação à previsão</i>						
	Intermodal	-98,85	+1,46	+4,62	+9,08	+21,34	+2479,35
	Sincromodal 1.0	-105,18	+1,62	+5,46	+9,73	+32,22	+152,43
	Sincromodal 2.0	-104,58	+1,87	+6,03	+10,19	+21,49	+149,33
	<i>Desvio percentual em relação à previsão</i>						
	Intermodal	-79,80%	+13,69%	+29,52%	+42,62%	+126,18%	+34088,63%
	Sincromodal 1.0	-97,49%	+14,14%	+30,18%	+43,75%	+126,73%	+1291,17%
	Sincromodal 2.0	-81,67%	+16,16%	+32,04%	+46,58%	+124,80%	+1138,58%
	<i>Desvio absoluto em relação ao prazo</i>						
	Intermodal	-175,82	-139,98	-116,05	-92,49	-58,34	+2352,75
	Sincromodal 1.0	-175,82	-138,89	-114,60	-90,24	-47,04	+59,90
	Sincromodal 2.0	-175,82	-140,11	-115,93	-90,66	-56,24	+7,29
	<i>Desvio percentual em relação ao prazo</i>						
	Intermodal	-99,48%	-89,37%	-82,50%	-75,25%	-55,17%	+1667,23%
Sincromodal 1.0	-99,40%	-89,04%	-81,69%	-74,39%	+0,00%	+56,51%	
Sincromodal 2.0	-99,39%	-88,86%	-81,58%	-74,68%	-52,38%	+6,88%	
Caso 1.a	<i>Desvio absoluto em relação à previsão</i>						
	Intermodal	-73,34	+1,36	+4,18	+8,75	+14,25	+2414,36
	Sincromodal 1.0	-72,25	+1,40	+5,13	+9,19	+47,53	+136,56
	Sincromodal 2.0	-83,07	+1,35	+4,42	+9,23	+30,36	+155,38
	<i>Desvio percentual em relação à previsão</i>						
	Intermodal	-77,16%	+10,26%	+27,01%	+40,06%	-123,02%	+5131,43%
	Sincromodal 1.0	-66,47%	+13,05%	+28,76%	+42,88%	+126,85%	+370,29%
	Sincromodal 2.0	-86,48%	+13,02%	+28,65%	+41,87%	+124,83%	+374,63%
	<i>Desvio absoluto em relação ao prazo</i>						
	Intermodal	-55,84	-23,00	-3,97	+12,44	+538,48	+2559,30
	Sincromodal 1.0	-55,81	-23,48	-4,88	+9,94	+90,00	+2732,69
	Sincromodal 2.0	-55,83	-23,62	-6,93	+8,57	+42,57	+192,42
	<i>Desvio percentual em relação ao prazo</i>						
	Intermodal	-97,86%	-54,62%	-14,95%	+123,07%	+3063,17%	+38774,92%
Sincromodal 1.0	-98,01%	-54,64%	-19,50%	+86,07%	+1570,54%	+20646,67%	
Sincromodal 2.0	-98,06%	-54,77%	-22,72%	+64,96%	+1358,06%	+7832,19%	