

Resolução do problema logístico de receção de matérias-primas recorrendo a princípios de *revenue management*

Bruno Filipe Carvalhais Rebelo

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. Pedro Sanches Amorim

Orientador no INESC-TEC: Eng. Reinaldo Silva Gomes



Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial

2021-02-26

Resumo

O custo de transporte de matérias-primas é uma parte significativa do custo de *procurement* na indústria florestal. Este contexto levou à adoção de técnicas de *routing* e *scheduling* para o processo de transporte de matérias-primas desde o local de extração até ao centro de transformação. No entanto, pouca atenção foi dada ao processo de receção. Outro fator que motivou o trabalho desenvolvido nesta tese foi a formação de grandes filas de espera no centro de transformação (na *gate* e nas docas) e consequente aumento dos custos de *procurement* e tempo de receção de matérias-primas.

Esta dissertação apresenta o desenvolvimento de um sistema de *scheduling* e receção das entregas no centro de transformação. O sistema de *scheduling* é baseado em *truck appointment systems* (TAS), já usados em portos marítimos, e em conceitos de *revenue management*. O sistema desenvolvido aloca cada entrega a uma *time-slot* e a uma doca usando conceitos de *revenue management*. Cada entrega é segmentada de acordo com o seu nível de prioridade. Segmentos superiores têm prioridade quando existem múltiplos candidatos para uma única *time-slot*.

O sistema desenvolvido foi testado num conjunto de 120 entregas num centro de transformação português e levou à redução em 66% dos custos extra de receção diários quando comparado com uma alocação baseada numa regra *first-in-first-out* (FIFO). O tempo médio de receção também sofreu uma redução significativa, sobretudo para as entregas classificadas em segmentos mais elevados.

Abstract

The cost of transportation of raw materials is a significant part of the procurement cost in the forestry industry. This context lead to the introduction of routing and scheduling techniques regarding the transportation of raw materials from the extraction sites to the transformation mill. However, low to no attention has been given so far to the materials reception process at the mill. Another factor that motivated the developed work was the formation of big waiting queues at the mill (gate and docks) and consequent increase of the procurement costs and raw material reception time.

This dissertation presents the development of a scheduling and reception system for the deliveries at a mill. The scheduling system is based on trucking appointment systems (TAS), applied at maritime ports, and on revenue management concepts. The developed system allocates each delivery to a time-slot and to an unload dock using revenue management concepts. Each delivery is segmented according to its priority. Higher segment deliveries have priority when there are multiple candidates to be allocated to one time-slot.

The developed scheduling system was tested on a set of 120 daily deliveries at a portuguese pulp wood mill and lead to a reduction of 66% of the daily reception cost when compared to a first-in-first-out (FIFO) allocation approach. The average waiting time was also significantly reduced, specially on the case of high priority trucks.

Agradecimentos

Primeiramente, ao Engenheiro Reinaldo Gomes e Professor Pedro Sanches Amorim pela disponibilidade ao longo da elaboração deste trabalho.

À Doutora Alexandra Marques pelos conselhos e contributos durante os últimos meses.

Aos meus pais, irmã e avós pelo apoio até ao culminar deste percurso.

À Noémia Ferreira por todo o carinho e apoio.

Bruno Filipe Carvalhais Rebelo

"Give 100%. 110% is impossible. Only idiots recommend that."

Ron Swanson

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento do projeto e motivação	1
1.2	Objetivos	2
1.3	Metodologia	2
1.4	Estrutura da dissertação	3
2	Revisão de literatura	5
2.1	Indústria de transformação de papel	5
2.2	<i>Scheduling</i> de entregas em portos marítimos	6
2.3	Aplicação de conceitos de <i>revenue management</i> na alocação a <i>time-slots</i>	8
3	Metodologia	11
3.1	Descrição do processo de receção de matérias-primas	11
3.2	Análise da situação atual	12
3.3	Proposta de resolução baseada em conceitos de <i>revenue management</i>	15
3.3.1	Primeira etapa - Planeamento da hora de chegada e alocação de <i>time-slot</i>	15
3.3.2	Segunda etapa - Alocação final das entregas	18
4	Aplicação em caso real	23
4.1	Apresentação da empresa	23
4.2	Modelos desenvolvidos	24
4.3	Descrição dos dados e parâmetros dos modelos	25
4.3.1	Análise do <i>dataset</i>	25
4.3.2	Características do caso de estudo	27
5	Resultados obtidos	31
5.1	Indicadores de custo	31
5.2	Indicadores temporais	32
5.3	Indicadores de afetação	35
5.4	Sumário	37
6	Conclusão	39
6.1	Conclusões	39
6.2	Trabalho futuro	40

Abbreviations

BAS	Block Appointment System
IAS	Individual Appointment System
KPIs	Key Performance Indicators
RM	Revenue Management

Lista de Figuras

3.1	Segunda etapa - chegada das entregas e processamento na <i>gate</i>	21
3.2	Segunda etapa - processamento das docas	22
4.1	Distribuição por tipo de produtos	26
5.1	Histograma com frequência de tempo de espera para 120 entregas, para todos os modelos desenvolvidos	34
5.2	Progressão do número de entregas em fila de espera ao longo do dia	35

Lista de Tabelas

2.1	Resumo da revisão bibliográfica (sistemas de marcação em portos marítimos) . .	10
3.1	Parâmetros dos modelos	14
4.1	Valores das constantes dos modelos	29
5.1	Indicadores de custo	31
5.2	Indicadores temporais	33
5.3	Número de <i>time-slots</i> extra na <i>gate</i> e <i>stockyard</i>	36
5.4	Número de entregas processadas depois da hora de encerramento	36
5.5	Ocupação dos recursos disponíveis	37

Capítulo 1

Introdução

O presente trabalho foi realizado no âmbito de um projeto de melhoria da rede logística de receção de matérias-primas numa empresa do setor de base florestal, com especialização no fabrico de papel e cartão.

1.1 Enquadramento do projeto e motivação

O transporte e receção de matérias-primas nos centros de transformação é um problema central da indústria da transformação de papel. A natureza deste tipo de matéria-prima torna crucial que esta seja rapidamente movida dos locais de extração até ao destino final, centro de transformação (também designado por *mill*). Os fatores que implicam uma rápida movimentação das mercadorias são a rápida degradação das mesmas, riscos de segurança (e.g. incêndios florestais), falta de espaço de armazenamento nos locais de extração e inacessibilidade dos locais de extração durante algumas épocas do ano. Em virtude das razões anteriormente enumeradas, cria-se um enorme fluxo de camiões de transporte de madeira, no início de cada dia, nos locais de extração e nos centros de consumo. Este elevado fluxo leva à criação de congestionamento e de filas de espera, tanto nos locais de extração como nos de descarga.

Nos centros de transformação (locais de descarga) cria-se congestionamento nos processos com recursos mais limitados. Os locais onde se cria congestionamento são na *gate*, onde as entregas são processadas à chegada, e nas docas, onde os camiões são descarregados. A *gate* é o local onde, ao chegarem ao centro de transformação, se dirigem todos os camiões para serem processados no sistema. De seguida, são direcionados para as docas, onde se realiza a descarga. As docas encontram-se divididas em *stockyard* e linhas de produção. O primeiro refere-se ao local onde é armazenada a matéria-prima, que é, mais tarde, movida deste para as linhas de produção. No centro de transformação as entregas provenientes de locais de extração são processadas em paralelo com as entregas provenientes de outros fornecedores do mercado. O congestionamento provocado pela elevada afluência simultânea de camiões leva a que possam ser necessárias várias

horas para concluir cada entrega, em vez de demorar menos de uma hora, como aconteceria em condições normais.

Os tempos de entrega prolongados geram ineficiências na *supply chain*. O aumento da duração da entrega das matérias-primas leva ao aumento no custo de transporte das mesmas. Outro impacto negativo dos elevados tempos de descarga é o incumprimento, por parte das empresas transportadoras, dos horários e das rotas planeadas para o resto do dia de trabalho.

A falta de planeamento da receção de mercadorias impede a utilização de técnicas de *scheduling* das operações nas docas. Isto traduz-se na impossibilidade de ocorrerem descargas de materiais diretamente nas linhas de produção, aumentando assim os custos associados à movimentação dos mesmos. A possibilidade de descarga nas linhas de produção, e não apenas no *stockyard*, permitiria ainda um aumento da capacidade atual de processamento de camiões nas docas, conduzindo a uma diminuição do congestionamento.

1.2 Objetivos

Como referido anteriormente, o congestionamento das entregas provocado no centro de transformação leva a um aumento dos custos de transporte das matérias-primas. O custo de transporte representa uma fatia elevada do custo de *procurement* neste tipo de indústria, pelo que se torna crucial reduzi-lo ao mínimo possível (Palmgren et al., 2004).

Este projeto visa o desenvolvimento de uma solução para o problema de congestionamento anteriormente descrito. Para tal, o problema é atacado por duas vertentes: por um lado, foi realizada uma melhor distribuição das entregas planeadas ao longo do dia de trabalho e, por outro, devido às melhorias de planeamento implementadas, torna-se possível começar a realizar descargas nas linhas de produção, e não apenas no *stockyard*. No modelo desenvolvido é realizada uma segmentação das entregas em níveis de prioridade de forma a diminuir o custo de transporte das entregas mais importantes. Esta segmentação serve também de incentivo a que as transportadoras passem a comunicar as suas horas de chegada e a carga que transportam até ao centro de transformação, uma vez que as entregas não-planeadas incorrem em elevados tempos de espera.

1.3 Metodologia

Atualmente, o método adotado para o tratamento das entregas consiste num FIFO, sem qualquer tipo de pré-planeamento. Deste modo, as entregas são alocadas a *time-slots* na *gate* e, posteriormente, nas docas de acordo com a sua hora de chegada. Entregas que cheguem antes são processadas primeiro. As entregas são todas não-planeadas e isto impede que sejam aplicados métodos mais estruturados de *scheduling* das mesmas.

Com o intuito de resolver o problema das entregas não planeadas, foram analisados casos de estudo com enfoque na implementação de sistemas de marcação de entregas em portos marítimos. Estes sistemas consistem na divisão do dia de trabalho em *time-slots* e na alocação das mesmas

a cada entrega. A alocação das *time-slots* é, posteriormente, realizada com base em conceitos de *revenue management*, nomeadamente, *capacity constraint revenue management*.

O método de resolução desenvolvido consiste na realização de uma classificação das entregas consoante o nível de prioridade das mesmas. Esta abordagem está dividida em duas partes que ocorrem em momentos distintos: a primeira etapa é a alocação provisória das entregas planeadas (reservas) a *time-slots* nas docas e a segunda, atribuição final das entregas, planeadas e não-planeadas, a *time-slots* e docas.

A primeira etapa consiste, inicialmente, na distribuição das entregas planeadas ao longo do dia, de forma a não existirem entregas com chegadas sobrepostas, e, de seguida, alocação temporária das mesmas a *time-slots* e docas. A alocação é realizada consoante um critério de menor custo diário de receção. Neste custo entram o tempo de espera de cada entrega e o custo de movimentação de matérias-primas dentro do centro de transformação.

A segunda etapa ocorre ao longo do dia de trabalho. Esta etapa consiste na alocação final das entregas (planeadas e não-planeadas) a *time-slots* nas docas. Nesta etapa, devido à junção das entregas não-planeadas e dos atrasos das entregas planeadas relativamente à sua hora de chegada, passam a existir chegadas sobrepostas. O algoritmo de alocação corre no início de cada *time-slot*, tanto na *gate* como nas docas, e consiste em atribuir as vagas existentes ao melhor candidato em fila de espera. Os critérios para escolha do melhor candidato são os seguintes, por ordem de importância: (i) atraso em relação à hora marcada, (ii) segmento e (iii) hora real de chegada. Entregas planeadas sem atraso ficam sempre alocadas à *time-slot* reservada inicialmente, independentemente do nível de segmento e das entregas em fila de espera. Entregas planeadas, mesmo que atrasadas, têm prioridade em relação a entregas não planeadas, e entregas planeadas de segmentos superiores têm mais *time-slots* disponíveis que entregas inferiores.

1.4 Estrutura da dissertação

Neste capítulo foram expostas a motivação e o objetivo a alcançar com este trabalho e, por fim, a metodologia que o permitirá atingir.

No capítulo 2 é feita uma revisão da literatura existente. Inicia-se com uma análise da literatura referente ao setor florestal, seguindo-se da respeitante a sistemas de marcação de entregas e, finalmente, a análise de uma metodologia que permite realizar a escolha da entrega a inserir em cada *time-slot*.

No capítulo terceiro é exposta a metodologia implementada para resolução do problema. Numa primeira etapa é explicado o funcionamento do processo de receção de matérias-primas. Seguidamente, é formulado o modelo seguido atualmente pelo centro de transformação. Este capítulo termina com a sugestão de uma nova metodologia para o tratamento das entregas diárias.

No capítulo quarto é abordada a implementação das metodologias num caso real. Para tal, inicia-se com a explicação dos modelos desenvolvidos, baseados nas metodologias apresentadas no capítulo 3, seguido da exposição da forma de obtenção dos dados e, por fim, da apresentação dos valores das constantes e parâmetros dos modelos.

No capítulo quinto é feita uma análise dos resultados obtidos. Este capítulo engloba a análise de alguns indicadores de *performance* (*KPIs*) e uma comparação entre os vários modelos desenvolvidos. Os indicadores analisados são de natureza financeira, temporal e de ocupação de recursos.

Por fim, no capítulo sexto são resumidas as conclusões do projeto e apresentado o trabalho futuro.

Capítulo 2

Revisão de literatura

Neste capítulo é realizada uma análise de trabalhos já existentes na área do projeto desenvolvido e respetivo enquadramento do projeto na literatura. Primeiramente, é realizada uma breve análise do setor florestal. Em segundo lugar são revistos trabalhos já desenvolvidos a nível do planeamento das operações de envio e receção de entregas no setor em questão. Por último, é feita uma análise do conceito de *revenue management* e de casos da sua aplicação em diversas indústrias

2.1 Indústria de transformação de papel

O transporte de mercadorias consiste na movimentação destas desde fornecedores até ao seu destino final, e representa cerca de um terço do custo logístico total das operações (Huynh, 1989). No setor florestal este custo pode representar mais de 45% dos encargos operacionais. Assim, pode concluir-se que o transporte das matérias-primas é da mais elevada importância no setor em causa (Palmgren et al., 2004).

As decisões de transporte podem classificar-se em três níveis, consoante o horizonte temporal abrangido: nível estratégico, nível tático e nível operacional. O planeamento estratégico está relacionado com um planeamento anual do fluxo de matérias-primas e decisões de alocação. Outros aspetos englobados por este nível de planeamento são ainda a construção de estradas e localização de instalações. Este planeamento é realizado com recurso a dados históricos sobre as operações. Por outro lado, as decisões a nível tático estão mais relacionadas com fluxo de produtos e decisões de armazenamento a médio-prazo. Finalmente, o nível operacional está relacionado com o planeamento a curto prazo (diário) e envolve a determinação de quantidades a transportar entre os diversos locais da *supply chain*. O presente projeto incide sobretudo no nível operacional do planeamento, logo é a este que vai ser dado maior enfoque na análise da bibliografia existente.

O nível operacional considera três decisões: fluxo de produtos, armazenamento e decisões de *routing* e *scheduling* dos veículos. O fluxo de produtos determina a quantidade diária de produto

transportado, o armazenamento está relacionado com quantidade a armazenar e a sua localização e, por fim, *routing* e *scheduling* estão relacionados com as rotas e os horários de cada entrega (Malladi and Sowlati, 2017). Apesar de ser utilizado transporte por caminhão, comboio e barco, ou uma combinação destes, o mais comum no setor florestal é o primeiro (Carlsson and Rönnqvist, 2007). A natureza temporária dos locais de abate (*harvest site*) leva a que seja necessário um meio de transporte de mercadorias flexível, versátil e com elevada mobilidade (Grebner et al., 2005).

A estrutura e a complexidade da *supply chain* e, conseqüentemente, dos modelos desenvolvidos, depende do tipo de produto transportado (Malladi and Sowlati, 2017). Os tipos de produtos transportados dividem-se em: transporte de troncos, transporte de biomassa, transporte de resíduos (e.g. pó e lascas de madeira) e transporte de mobília.

Apesar da importância da elevada eficiência da *supply-chain* no setor florestal, existem poucos trabalhos focados na otimização do transporte de mercadorias a nível operacional. Em Rönnqvist (2003) é proposto um modelo de otimização geral para o problema de transporte com *backhauling*. A forma como o plano operacional é desenvolvido depende de empresa para empresa. Em alguns casos podem ser estabelecidas quotas para o número de cargas que devem ser transportadas e as empresas transportadoras organizam-se de forma independente umas das outras. Num segundo caso podem ser fornecidos horários que as empresas transportadoras têm de seguir. O último caso que pode ocorrer é o transporte ser realizado inteiramente por uma grande empresa transportadora. Neste caso o planeamento operacional é realizado pela empresa transportadora. O modelo desenvolvido neste trabalho permite a criação de uma rota e de horários. Para não ocorrerem viagens vazias, foi implementado *backhauling*. Em Audy and Rönnqvist (2012) são expostos vários modelos, heurísticas e sistemas de suporte à decisão para a resolução de problemas de *routing* e *scheduling*. No entanto, nos modelos apresentados não é feita uma diferenciação entre o tipo de produto transportado e a complexidade da *supply chain* que lhe está associada.

2.2 Scheduling de entregas em portos marítimos

À semelhança do que ocorre no presente trabalho, também nos portos marítimos a chegada de entregas não-planeadas leva a graves ineficiências a nível logístico. Na origem destas ineficiências está a não marcação de uma hora de chegada por parte das empresas transportadoras o que origina períodos desocupados e, em contrapartida, períodos nos quais o número de camiões ultrapassa largamente a capacidade de processamento dos portos.

O primeiro critério a ter em conta na elaboração de um TAS é o tipo de sistema pretendido. Os TAS podem ser classificados em *Individual Appointment Systems* (IAS) ou *Block Appointment Systems* (BAS). O que diferencia estes dois tipos de sistema é o número de entregas alocada a cada *time-slot*. Nos IAS cada *time-slot* tem apenas uma entrega alocada, enquanto que no BAS tem várias, de modo a tentar colmatar problemas de atrasos e *no-shows*. Os sistemas BAS foram inicialmente desenvolvidos para amortizar os impactos provocados por atrasos e *no-shows* em consultas médicas. Posteriormente, Huynh (2009) adaptou o modelo para implementação em sistemas de marcação de chegadas de camiões a portos marítimos. No estudo desenvolvido, Huynh

(2009) realiza experiências em vários cenários com diferentes percentagens de entregas atrasadas para avaliar a *performance* do modelo sob vários cenários e para verificar quais os fatores com maior peso na solução final.

O segundo critério é se o sistema deve ser dinâmico, ou seja, permitir uma negociação da hora de entrega entre a empresa transportadora e o terminal. Em Phan and Kim (2015), o processo de marcação é baseado numa negociação da hora de chegada entre a empresa transportadora e o porto marítimo. Neste modelo, a empresa transportadora submete uma proposta com a hora de chegada desejada. Após a submissão, o sistema de marcação faz uma estimativa do tamanho da fila de espera na hora desejada e fornece esta informação à empresa transportadora. Baseado no custo de espera, no número de vagas em diferentes *time-slots* e no custo de mudar a hora de chegada prevista, é feita uma nova submissão para hora prevista de chegada. Este processo repete-se até o terminal e a empresa transportadora conseguirem chegar a um consenso em relação à hora de chegada. Abdelmagid et al. (2020) sugere o desenvolvimento de um *Truck Appointment System* (TAS) que tem como objetivo resolver a chegada aleatória de entregas. As chegadas aleatórias de entregas causam problemas de congestionamento o que leva a tempos de processamento bastante superiores ao suposto. O objetivo do trabalho desenvolvido é a minimização do desvio entre a hora de chegada desejada pelas empresas de transporte e a *time-slot* atribuída pelo porto marítimo.

Alguns sistemas de marcação que também se revelaram promissores no planeamento das chegadas de camiões a portos são sistemas regulados por quotas. Nestes sistemas é estabelecido um número máximo de entregas em cada *time-slot* e as empresas transportadoras marcam uma hora consoante a disponibilidade existente. Murty et al. (2005) propôs a criação de um sistema de marcações no porto de Hongkong. Este porto apresenta complicações a nível espacial o que torna crucial que as operações de entrega e recolha funcionem da forma mais eficiente possível. Com o objetivo de evitar grandes filas de espera, foi desenvolvido um sistema de marcação baseado em quotas de ocupação de *time-slots*. Neste caso, cada *time-slot* tem uma duração de 30 min e apresenta um número máximo de marcações para a mesma. O valor ótimo da quota é aquele que minimiza a penalização sobre o tempo livre dos equipamentos de carga/descarga e sobre o tempo durante o qual o número de camiões na fila de espera é superior ao limite estabelecido. Antes de ser realizada uma entrega, a empresa transportadora deve ligar e verificar se existe alguma vaga na *time-slot* durante a qual pretende chegar ao porto. Entregas sem marcação prévia não são autorizadas a entrar no porto.

Em Huynh and Walton (2008) são enumeradas vantagens de implementação de sistemas de marcação, do ponto de vista do operador (porto marítimo). As vantagens apresentadas são a possibilidade de contratação de um adequado número de trabalhadores e tornar mais rápido o processamento na *gate*, pois já existem informações acerca da entrega, registada aquando da realização da marcação. À semelhança do caso anterior, também este sistema de marcação é baseado na criação de vagas para cada *time-slot*. No entanto, aqui é feita uma *robustização* do modelo. Para tal é tido em conta a percentagem de entregas que chega atrasada, e, consequentemente, falha a hora marcada.

Estes casos de estudo sobre a resolução de problemas de congestionamento em portos marítimos apresentam várias semelhanças com o caso da receção de matérias-primas nos centros de

transformação de madeira. Tanto no caso dos portos marítimos como no caso de estudo apresentado neste trabalho, o congestionamento é provocado devido à falta de planeamento das entregas antes das mesmas ocorrerem, existe uma limitação de recursos para o processamento, que leva à origem de filas de espera, a receção das entregas é dividida em dois momentos (*gate* e docas) e o processamento na *gate* e nas docas apresenta tempos mais ou menos semelhantes de entrega para entrega. Todos estes fatores tornam o problema de receção nos centros de transformação um bom candidato para a implementação de um TAS com *time-slots* à semelhança dos implementados nos portos marítimos.

Na tabela 2.1 são apresentados os objetivos e decisão tomada por alguns modelos de TAS, bem como o método de solução implementado.

2.3 Aplicação de conceitos de *revenue management* na alocação a *time-slots*

A aplicação de *revenue management*, também conhecido por *yield management*, tem tido, ao longo dos últimos anos, uma grande aplicação em diversos setores. Estes conceitos são maioritariamente aplicados ao setor da aviação, à hotelaria, entre outros (Quante et al., 2009). *Revenue management* pode ser visto como uma ferramenta de gestão que conjuga o preço de produtos e serviços com o inventário existente dos mesmos de forma a maximizar o lucro. Outra definição está relacionada com a aplicação de táticas que prevêm o comportamento do consumidor ao nível do micro-mercado e otimizam o preço e a disponibilidade de forma a maximizar o lucro.

Em Talluri and Ryzin (2005) é feita uma distinção entre *quantity-based* e *price-based revenue management*. O primeiro consiste na exploração da heterogeneidade dos consumidores e baseia-se na segmentação dos mesmos em classes e priorização dos mesmos na alocação a recursos, quando estes são escassos. O segundo tipo consiste na utilização de variações de preço para gerir a procura.

Os ganhos reportados da aplicação dos conceitos de *revenue management*, no mercado do transporte aéreo e de alugueres, levaram a uma tentativa de aplicação destes conceitos noutras tipos de indústria (Kuyumcu et al., 2018). Em Quante et al. (2009) é feita a aplicação dos conceitos de *revenue management* à reserva de *slots* num navio contentor. Neste trabalho são identificados os fatores que tornam *revenue management* uma boa abordagem a problemas de transporte e é, posteriormente, realizada uma revisão de aplicações anteriores realizadas.

Uma prática comum ao implementar conceitos de *revenue management* é a utilização de *overbooking*. Esta prática consiste em vender mais produtos do que aqueles que existem fisicamente disponíveis. *Overbooking* é vantajoso em casos em que existem cancelamentos ou os clientes não aparecem para a realização do serviço contratado. No entanto, caso não ocorram os casos anteriormente mencionados, a empresa prestadora de serviços não irá ter capacidade disponível para acomodar todos os clientes. Nesta situação têm de ser negociadas penalizações entre a empresa e o cliente (Klein et al., 2020). A implementação de *overbooking* pela *Continental Airlines* gerou ganhos entre 15% a 18% no modelo de *revenue management* já aplicado na empresa, com uma

previsão de cerca de 4% de *no-shows* (Gorin et al., 2006). Em Klein et al. (2020) e em Chen et al. (2007) são exemplificadas aplicações de *revenue management* em indústrias menos tradicionais.

Por fim, em Frank et al. (2008) são identificados os princípios para realização de simulações com aplicação de conceitos de *revenue management*.

Após uma minuciosa análise da bibliografia existente é possível concluir que o problema apresentado neste projeto pode ser um candidato à implementação de métodos de *revenue management* aquando da alocação das entregas a *time-slots*. No caso apresentado, é implementado *quantity-based revenue management*, uma vez que se trata de uma base de "consumidores" heterogênea e alocação dos mesmos a escassos recursos (docas). As entregas diferenciam-se entre si em cinco fatores que vão ser usados para o cálculo do nível de prioridade de cada uma e posterior segmentação. Após ser realizada a segmentação, procede-se à alocação de cada entrega a uma doca e a uma *time-slot* consoante o seu nível de prioridade. O objetivo com esta alocação é o de minimização do custo extra de receção. Entregas com um nível de prioridade mais elevado têm naturalmente um custo de espera superior a entregas que se encontram nos níveis inferiorizes de prioridade.

Tabela 2.1: Resumo da revisão bibliográfica (sistemas de marcação em portos marítimos)

Artigo	Objetivo	Decisão	Método de solução
Murty et al. (2005)	Minimização de penalizações	Definição do número de vagas por <i>time-slot</i>	—
Huynh and Walton (2008)	Maximizar número de camiões servidos por <i>time-slot</i>	Definição do número de vagas por <i>time-slot</i>	Heurística
Huynh (2009)	Minimização de custos	IAS - Duração da <i>time-slot</i> ; BAS - Número de vagas em cada <i>time-slot</i>	—
Chen and Yang (2010)	Minimização de custo	Alocação e duração ideal das <i>time-slots</i>	Heurística
Chang et al. (2013)	Minimização do tempo de espera	Número de vagas em cada <i>time-window</i>	Heurística
Phan and Kim (2015)	Minimização de custos	Alocação de <i>time-slots</i> a entregas	Exato
Abdelmagid et al. (2020)	Minimizar custos dos atrasos	Alocação a <i>time-slot</i>	—
Este trabalho	Minimizar custo diário de receção	Alocação das entregas a <i>time-slots</i> e docas de descarga	Heurística

Capítulo 3

Metodologia

Neste capítulo é exposto o processo de receção de matérias-primas. Adicionalmente, é analisado o atual modelo para tratamento das entregas e, de seguida, é proposto um novo modelo de receção baseado no conceito de *revenue management*.

3.1 Descrição do processo de receção de matérias-primas

O processo de receção de matérias-primas engloba quatro etapas distintas: etapa de serviço, etapa de descarga, etapa de saída e etapa fornecimento. A última não está relacionada com o processo de receção, mas é sim um processo que ocorre internamente, crucial à produção. Estas etapas ocorrem simultaneamente no centro de transformação ao longo do dia de trabalho.

O dia de trabalho está dividido em *time-windows* de 2 horas, que, por sua vez, se encontram divididas em *time-slots*. A duração de cada *time-slot* corresponde à duração máxima das operações que tomam lugar na etapa de serviço e na etapa de descarga. No caso da etapa de serviço cada *time-slot* tem duração de 7 minutos enquanto que na etapa de descarga tem duração de 15 minutos.

A etapa de serviço inicia-se sempre que se inicia uma *time-slot* e existem entregas em espera na *gate*. Aqui é registada a hora de entrada da entrega (E_v). Esta etapa consiste na verificação da documentação do transporte, realização de um controlo de segurança e uma avaliação quantitativa e qualitativa das mercadorias transportadas. De seguida, o camião é alocado à doca onde deve realizar o descarregamento das mercadorias. Nesta etapa é importante salientar a diferença entre hora de chegada (A_v) e hora de entrada (E_v). A hora de chegada é a hora à qual a entrega chega ao centro de transformação, enquanto que a hora de entrada é o momento em que a entrega acaba de ser processada na *gate*. No caso de inexistência de fila de espera, a diferença entre a hora de chegada e a hora de entrada corresponde ao tempo de processamento na *gate*.

Segue-se a etapa de descarga. Esta etapa inicia-se quando a entrega passa a *gate* e se dirige até à doca à qual foi alocada. A hora de chegada à doca corresponde à hora de entrada mais o tempo de viagem entre a *gate* e a doca (L_{gd}). Após chegar à doca, o camião fica em fila de espera até surgir uma vaga. Quando surge uma vaga inicia-se o processo de descarga. Neste instante

registra-se a hora de início desta operação (U_v). A eficiência considerada para o equipamento de descarga é a média da duração das operações de descarga (L).

Após a conclusão do descarregamento inicia-se a etapa de saída. Esta etapa consiste na simples saída do caminhão, pelo mesmo local por onde entrou. Esta viagem tem a mesma duração L_{dg} que teve anteriormente. À saída do caminhão não existe fila de espera, por isso a hora de saída corresponde à hora de início da descarga somada ao tempo de descarga e ao tempo de viagem entre as docas e a *gate*. À saída é registrado o tempo de saída (B_v).

A última etapa não está relacionada com o processo de recepção de mercadorias, mas é igualmente crucial para o funcionamento do centro de transformação. Trata-se da etapa de fornecimento e consiste na movimentação das mercadorias do *stockyard* para as linhas de produção. Uma vez que, por questões logísticas, apenas são realizadas descargas no *stockyard* e não nas linhas de produção, este processo torna-se crucial.

Durante o dia, e sobretudo nas horas de ponta, cria-se alguma fila de espera tanto na *gate* como nas docas.

3.2 Análise da situação atual

Atualmente, o processo de recepção de matérias-primas é conduzido segundo uma metodologia *first-in-first-out* (FIFO). No modelo de recepção atual, todas as entregas são não-planeadas, uma vez que não existe informação relativa às mesmas antes de ocorrerem. Assim, torna-se impossível proceder a uma distribuição das chegadas ao longo do dia, e a chegada simultânea de entregas leva à criação de filas de espera. Nestas situações, entregas que deveriam demorar menos de 1 hora a realizar, podem demorar várias horas.

No caso do FIFO, as entregas são segmentadas e processadas de acordo com a sua hora de chegada (A_v), não sendo dada relevância à prioridade de cada entrega.

Quando uma entrega chega é atribuída à *time-slot* com início mais próximo da sua hora de chegada, na ausência de fila de espera, ou *time-slot* imediatamente a seguir à *time-slot* da entrega anterior, caso contrário.

Após serem processados na *gate*, os camiões dirigem-se às docas que lhes foram atribuídas. Cada doca apenas aceita um tipo de produto, por isso, nesta fase, as entregas são divididas por tipo de produto transportado. À semelhança do que ocorre na chegada à *gate*, as entregas são descarregadas no início da *time-slot* mais próxima da sua hora de chegada às docas, caso não exista fila de espera, ou, caso contrário, esperam que surja uma vaga.

Na metodologia aplicada atualmente não é possível realizar descargas diretamente nas linhas de produção devido à complexidade logística que isso acarreta. Deste modo, toda a matéria-prima tem de ser movida do *stockyard* para as linhas de produção, o que se traduz em elevados custos de manuseamento. Outra desvantagem de apenas ser possível realizar descargas no *stockyard* é a reduzida capacidade de processamento de entregas. Caso pudessem ser utilizadas as linhas de produção como local de descarga, a capacidade de processamento das entregas nas docas passaria para o dobro, o que diminuiria significativamente o tempo de espera. No entanto, para tal ser

possível é necessário passar a fazer-se um planeamento das entregas e uma melhor distribuição das chegadas ao longo do dia.

Tabela 3.1: Parâmetros dos modelos

Input data	
W	<i>time-windows</i> na <i>gate</i>
V	camhões correspondentes a entregas planeadas
V^N	camhões correspondentes a entregas não-planeadas
D	locais de descarga, incluindo linhas de produção D^L e células de armazenamento (<i>stockyard</i>) (D^S)
T^G	<i>time-slots</i> disponíveis na <i>gate</i>
T	<i>time-slots</i> disponíveis nas docas
L^G	duração das <i>time-slots</i> na <i>gate</i> (min)
L^D	duração das <i>time-slots</i> das docas (min)
d^i	hora de abertura das docas
d^f	hora de encerramento das docas
g^i	hora de abertura da <i>gate</i>
g^f	hora de encerramento da <i>gate</i>
L_{gd}	tempo de viagem desde a <i>gate</i> até à doca d (min)
t_d	tipo de produto aceite na doca d
C^e	custo de espera (EURO/min)
C^m	custo de movimentação da matéria-prima dentro do centro de transformação (EURO/ton)
Parâmetros método das prioridades	
n	número de segmentos para classificação das entregas planeadas
π	número de <i>timel-slots</i> deixadas livres nas linhas para entregas não-planeadas (%)
λ_i	peso dos critérios usados no cálculo do índice de prioridade
γ_{n-1}	prioridade limite dos segmentos
α	antecipação/atraso aceitável para entrega ser considerada <i>on-time</i> (min)
Δ	atraso máximo para entrega não baixar de segmento (min)
δ_1	peso da prioridade P_v^i usada para recalcular índice de prioridade com atraso
Outros	
A_v^{real}	hora de chegada real do camião v
A_v^{plan}	hora de chegada planeada do camião v
U_{vtd}^{plan}	início t de descarga e doca d planeada para a entrega v
t_v	tipo de produto transportado pelo camião v
p_v	carga do camião v (ton)
c_{vtd}	custo de alocação da entrega v à <i>time-slot</i> t e doca d

3.3 Proposta de resolução baseada em conceitos de *revenue management*

A proposta de resolução com base em conceitos de *revenue management* (também designado por modelo de prioridades) divide-se em 2 etapas distintas. A primeira etapa ocorre no dia anterior às entregas serem realizadas e consiste em distribuir as entregas planeadas ao longo do dia de trabalho, de forma a evitar que ocorra chegada de entregas sobrepostas. A segunda etapa é realizada no dia da entrega e consiste em realocar as *time-slots*, baseando-se nos atrasos das entregas planeadas em relação à sua hora prevista de chegada, e em alocar as entregas não-planadas a *time-slots*.

3.3.1 Primeira etapa - Planeamento da hora de chegada e alocação de *time-slot*

Como referido anteriormente, na primeira etapa é calculado o nível de prioridade de cada entrega e, de seguida, é realizada uma distribuição das mesmas pelas *time-slots* da *gate* e das docas com base no valor de prioridade obtido. Esta etapa desenvolve-se da seguinte forma:

1. Cálculo da prioridade e segmentação de todas as entregas da lista de entregas planeadas
2. Atribuição de uma hora de chegada na *gate* de acordo com a prioridade de cada entrega
3. Cálculo do custo de receção das entregas para todas as *time-slots* e docas possíveis (uma entrega só pode ser alocada a docas que recebem o tipo de produto transportado e a *time-slots* que tenham início depois da sua chegada às docas)
4. Atribuição de *time-slot* e doca a cada entrega baseado num critério de minimização de custo

O valor da prioridade inicial (P_v^i) é uma soma ponderada de vários critérios (σ_i). Estes fatores são os seguintes:

1. Informação histórica das entregas - dados relativos ao comportamento da transportadora/camião em entregas passadas;
2. Número de entregas adicionais no mesmo dia - cada camião pode fazer várias entregas no mesmo dia. Isto conduz a que camiões que façam mais de uma entrega assumam prioridade superior de forma a terem tempo de realizar todas as suas entregas. O valor assumido por este critério vai diminuindo a cada entrega que o camião realiza, e assume o valor correspondente ao número de entregas que ainda tem para realizar (e.g. para um camião que tenha 3 entregas para realizar este critério assume, na primeira, o valor de 2, na segunda, o valor de 1 e, na final, o valor de 0);
3. Características da entrega - estas características são o local de origem da entrega, o facto de o camião transportar a carga máxima possível e o tipo de produto transportado ser aceite ou não nas linhas de produção. Estes fatores assumem o valor de 0 ou 1 (e.g. se um camião transporta a carga máxima o fator relativo assume o valor de 1, caso contrário o valor de 0)

Cada um destes critérios assume um peso (λ_i) no valor final da prioridade. O valor de prioridade assume valores entre 0 e 1.

Após calcular a prioridade de cada entrega é feita a classificação das mesmas em segmentos. Os segmentos são delimitados por constantes ($\gamma_n - 1$, em que n representa o número de segmentos adotado). Estes valores representam o valor mínimo a partir do qual a entrega é classificada no segmento seguinte de prioridade. Em baixo é possível ver a fórmula usada para o cálculo da prioridade de cada entrega:

$$P_v^i = \sum_i \lambda_i \sigma_i^v, \quad \sum_i \lambda_i = 1, 0 \leq \lambda_i \leq 1 \quad (3.1)$$

Esta etapa prossegue com a atribuição de uma hora planeada de chegada a cada entrega com base na sua hora de chegada desejada e no seu segmento. Como referido anteriormente, o horário de trabalho na *gate* está dividido em *time-slots* de 7 minutos de duração. Ao receber a lista de entregas planeadas, cada entrega tem uma hora de chegada desejada. No entanto, estas horas podem não ser coincidentes com a hora de início de uma *time-slot* e podem ocorrer chegadas sobrepostas. Como tal, as entregas são segmentadas em *time-slots* na *gate* consoante a sua hora de chegada desejada. Posteriormente, as horas de chegada são atribuídas com base no segmento de cada entrega. As entregas de segmentos mais elevados apresentam menor transtorno (diferença entre a hora de chegada desejada e a hora de chegada atribuída), enquanto que as de segmento mais baixo são as que ficam mais longe da sua hora de chegada desejada.

De seguida, é realizada a atribuição de uma *time-slot* e uma doca a cada entrega. Para isto é realizada uma alocação ótima com objetivo de obter menor custo extra diário de receção das v entregas previstas nas *time-slots* t e docas d . Este processo pode ser abordado com Programação Inteira cuja variável de decisão x assume o valor de 1 se o camião $v \in V$ for alocado à *time-slot* $t \in T$ e doca $d \in D$, e 0 caso contrário:

$$x = \begin{cases} 1, & \text{se camião } v \text{ é alocado a doca } d \text{ na } \textit{time-slot } t. \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

A função objetivo:

$$\min y = \sum_{v \in V} \sum_{d \in D} \sum_{t \in T} c_{vtd} x_{vtd} \quad (3.2)$$

Sujeita a:

$$\sum_{d \in D} \sum_{t \in T} x_{vtd} = 1, \forall v \in V \quad (3.3)$$

$$\sum_{v \in V} x_{vtd} \leq 1, \forall t \in T, d \in D \quad (3.4)$$

$$\sum_{d \in D^L} \sum_{t \in T} \sum_{v \in V} x_{vtd} \leq T(1 - \pi) \quad (3.5)$$

$$x_{vtd} \in \{0, 1\}, \forall v \in V, t \in T, d \in D \quad (3.6)$$

A função objetivo (3.2) reduz o custo total de receção das matérias-primas através de uma alocação ótima das entregas com hora de chegada planeada às *time-slots* e às docas disponíveis. A função objetivo é construída a partir da variável binária x , mencionada anteriormente, e da função de custo (c_{vtd}). A função de custo permite obter o custo extra de receção originado por ineficiências na *supply chain*. Os fatores que entram no cálculo deste custo são o tempo de espera de cada entrega para ser processada na *gate* e, posteriormente, nas docas. Entra ainda nesta função o custo de movimentação de matérias-primas do *stockyard* para as linhas de produção. Ambas as componentes são divididas pelo nível de prioridade de cada entrega de forma a dar prioridade de alocação às entregas mais importantes. Na função de custo não entram os encargos do trabalho da *gate* e das docas no seu horário normal de trabalho. A função de custo é calculada a partir da seguinte fórmula:

$$c_{vtd} = \frac{C^e W_v + C^m p_v}{P_v^i}, \forall v, d : t_v = t_d, t \text{ in } T \quad (3.7)$$

$$W_v = (U_{vtd} - (A_v + L^G + L_{gd})) \quad (3.8)$$

O primeiro componente da fórmula de custo é o produto do tempo total de espera (W_v) pelo custo unitário de espera em fila (C^e). O tempo de espera total é a diferença entre a hora do início das operações de descarga e a hora de chegada ao centro de transformação, incluindo a duração do processamento da entrega na *gate* e o tempo de viagem entre esta e as docas. O custo de espera para ser processada na *gate* é sempre inexistente, uma vez que a hora de chegada planeada de cada entrega prevê que não existam chegadas sobrepostas. O custo de espera (C^e) é estabelecido como o custo fixo médio para um camião carregado especializado num dado tipo de matéria-prima. O segundo componente diz respeito ao custo de movimentação de mercadoria dentro do centro de transformação. Este componente apenas é considerado quando a descarga é realizada no *stockyard*, e não numa linha de produção. O custo de movimentação é obtido pelo produto entre o custo de movimentação unitário (C^m) e a carga transportada pelo camião (p_v). Nesta primeira fase não é necessário incluir o custo de horas extra de trabalho no centro de transformação, uma vez que as entregas planeadas são distribuídas de forma a serem tratadas dentro das horas de trabalho normais.

Para valores iguais dos componentes da equação (3.7), a *time-slot* t é atribuída à entrega com

prioridade superior. O custo é superior quando o tipo de produto transportado não é aceite na doca d .

As restantes equações constituem as restrições do modelo. A equação (3.3) impõe que cada entrega deve ser atribuída a, exatamente, uma *time-slot*. Neste problema, é assumido que as operações de descarga começam no início de cada *time-slot* e que o camião se encontra vazio no fim da mesma. Para que tal aconteça foi estabelecido que a duração do período de descarga (*time-slot nas docas*) corresponda à duração máxima da operação de descarga. Reciprocamente, cada *time-slot* numa determinada doca pode ser atribuída no máximo a uma entrega (3.4). A restrição seguinte limita o número de entregas atribuídas a *time-slots* de linhas de produção com o objetivo de deixar π *time-slots* disponíveis para entregas não-planeadas (equação 3.5). Nesta primeira fase é de esperar que a maior parte das entregas seja alocada a *time-slots* nas linhas de produção, mas não é obrigatório que todas sejam.

Devido a elevados tempos de espera ou a limitações impostas pela restrição (3.5) algumas das entregas planeadas podem acabar por ser alocadas ao *stockyard*. Finalmente, a restrição (3.6) impõe os requisitos binários do problema.

3.3.2 Segunda etapa - Alocação final das entregas

A segunda etapa ocorre no dia de realização das entregas. Nesta etapa é feita a alocação final das entregas planeadas, juntamente com as não-planeadas. O algoritmo implementado na segunda etapa é apresentado em baixo:

1. Cálculo da prioridade revista e segmentação de acordo com a mesma
2. Computação de fila de espera na *gate* (junção das novas chegadas à fila de espera existente)
3. Atribuição de *time-slot* na *gate* ao melhor candidato na fila de espera
4. Computação de fila de espera nas docas (junção das novas chegadas à fila de espera existente)
5. Alocação das *time-slots* nas docas aos melhores candidatos de cada tipo de produto
6. Verificar se é atingida condição de paragem (*time-slot* na *gate* ser superior à hora de encerramento e não existirem entregas na fila de espera). Caso sim, parar; caso contrário, voltar ao passo 1.

O primeiro passo desta etapa é o cálculo da prioridade revista de cada entrega com base nos atrasos. O atraso de cada entrega é a diferença entre a hora de chegada prevista e um índice que assinala entregas que chegam na hora marcada. Este índice é normalizado pela hora de encerramento da *gate*. O cálculo deste índice baseia-se no parâmetro de tolerância α . O parâmetro referido anteriormente estabelece a tolerância, à volta da hora planeada de chegada, na qual a entrega é considerada como chegando a horas (i.e. se α for igual a 5min uma entrega com hora planeada de chegada de 7h:10min é considerada a horas caso chegue entre as 7h:5min e as 7h:15min).

O atraso é depois usado para calcular a prioridade revista (P_v^u). A prioridade revista em conjunção com os limites dos segmentos revistos é usada para fazer uma nova classificação das entregas de acordo com o seu atraso.

$$L_v = \begin{cases} \frac{A_v^{real} - \phi}{g^f}, & \text{se } A_v^{real} > \phi. \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases} \quad (3.9)$$

$$\phi = \min\{(A_v^{plan} + \alpha); (U_{vtd}^{plan} - L_{gd} - L^G)\} \quad (3.10)$$

$$P_v^u = \delta_1 P_v^i + \delta_2 (1 - L_v), \quad \delta_1 + \delta_2 = 1; \quad 0 \leq \delta_1, \delta_2 \leq 1 \quad (3.11)$$

$$\gamma_n^u = \delta_1 \gamma_n + \delta_2 \left(1 - \frac{\Delta}{g^f}\right) \quad (3.12)$$

A equação (3.9) dá o atraso de cada entrega. O valor desta função depende do resultado da equação (3.10) que corresponde ao índice que assinala as entregas que chegam na hora marcada. Se a hora real de chegada (A_v^{real}) for superior ao índice anterior, então a entrega não chega na hora marcada e é necessário calcular o seu atraso. Caso contrário, o atraso assume o valor de 0. Após calcular o atraso de cada entrega calcula-se o índice de prioridade revista (P_v^u) com a equação (3.11). Com as mudanças das prioridades torna-se também necessário criar novos níveis limites para cada segmento. Os novos valores dos limites são calculados com a equação (3.12).

Nesta etapa passam a existir 4 níveis de segmentação. Em adição aos da etapa anterior (*baixo, médio e alto*) junta-se o nível de prioridade *muito-baixo*. O processo de *downgrade* é controlado pelo parâmetro de *downgrade* (Δ). O valor de Δ corresponde ao atraso a partir do qual, uma entrega no limite inferior do segmento, é baixada para o segmento inferior (e.g. uma entrega com nível de prioridade igual a 0.6 na alocação inicial pertence ao segmento *alta* prioridade; se o atraso desta entrega for igual ou superior a 30 min a entrega baixa de nível). Para atrasos acima de Δ entregas com níveis de prioridade mais elevados irão manter o seu segmento enquanto entregas com prioridade mais baixa vão sofrer *downgrade*. É importante salientar que até entregas classificadas no nível máximo de prioridade podem baixar para os níveis mais baixos, quando atrasos muito elevados ocorrem. As entregas não-planeadas têm prioridade P_v^u igual a zero e são classificadas no segmento *muito-baixo*.

O processo de atualização das prioridades e do segmento é dinâmico e vai ocorrendo à medida que as entregas vão chegando ao centro de transformação.

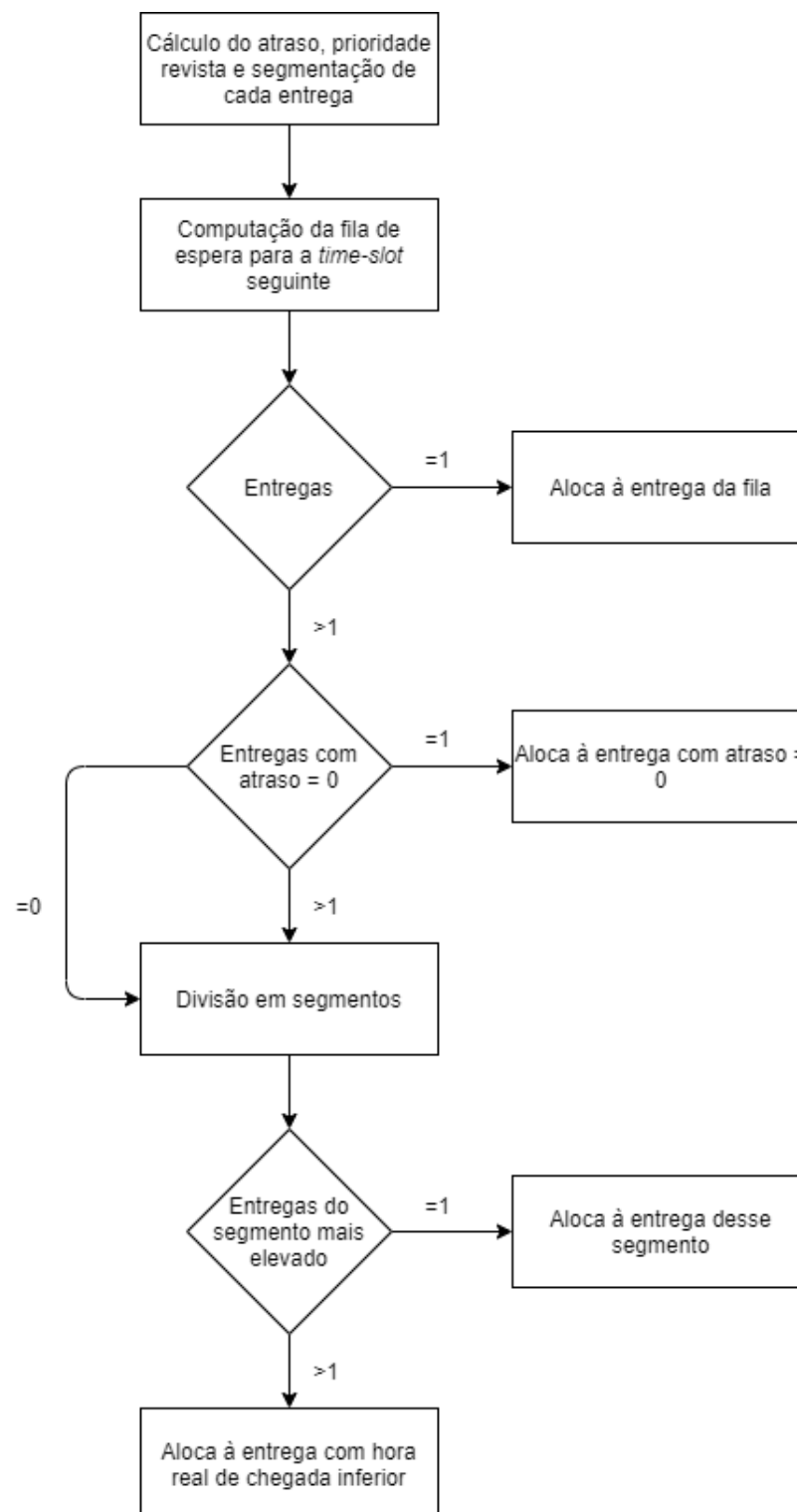
O segundo e terceiro passos desta etapa funcionam quase como um. O passo 2 é a computação da nova fila de espera na *gate*. Para tal, junta-se à fila de espera já existente as novas chegadas, que ocorrem entre o final da *time-slot* anterior e o início da *time-slot* atual. De seguida, é escolhido o melhor candidato da fila de espera com base nos seguintes critérios: atraso em relação à hora marcada, segmento e hora de chegada. O primeiro critério para a escolha do melhor candidato é o *critério dos atrasos*. Caso existam na fila de espera uma ou mais entregas planeadas com atraso igual a zero, estas tomam prioridade em relação às restantes. Caso apenas exista uma entrega com atraso igual a zero a *time-slot* na *gate* é automaticamente atribuída a esta entrega. O segundo

critério é o critério dos segmentos. Se existirem várias entregas com atraso igual a zero, ou caso não exista nenhuma, é feita uma divisão dos candidatos pelos respectivos segmentos. Como seria de esperar, entregas classificadas com um segmento superior têm prioridade em relação às restantes. Existe ainda a possibilidade de existirem várias entregas no mesmo segmento. Nesse caso, o critério de desempate é a hora de chegada ao centro de transformação.

Após serem processados na *gate*, os camiões dirigem-se às docas. Nas docas, o processo de atribuição às *time-slots* é semelhante ao processo utilizado na *gate*.

As entregas vão chegando às docas e são classificadas de acordo com a *time-slot* em que chegam. De seguida, as entregas são divididas de acordo com o tipo de produto que transportam, uma vez que as docas de cada tipo de produto são independentes umas das outras. Após ser feita a divisão, consoante o tipo de produto, é iniciado o processo de alocação às *time-slots* e às docas. Se um tipo de produto apenas tiver docas do tipo *stockyard* como local de descarga o processo de alocação funciona da mesma forma que na *gate*. Inicialmente dividem-se as entregas em entregas com e sem atraso. Caso apenas existam entregas atrasadas ou caso existam várias entregas com atraso igual a zero passa-se ao critério dos segmentos e, se for necessário, ao critério da hora de chegada real. Por outro lado, se de um tipo de produto tiver linhas de produção e *stockyard* como local de descarga e existirem várias entregas na fila de espera, o processo de alocação torna-se mais complexo. Neste caso é necessário verificar o número de entregas que um determinado tipo de produtos vai ter na *time-slot* seguinte e se o custo de espera é inferior ao custo de movimentação de matérias-primas do *stockyard* para as linhas de produção. A lista com as entregas de um determinado produto na *time-slot* seguinte é computada a partir das alocações temporárias realizadas na primeira etapa e das entregas que foram processadas na *gate* e têm uma hora de chegada às docas compreendida entre o início da *time-slot* atual e o início da seguinte. Após a obtenção das entregas do período seguinte podem ocorrer duas situações: número de entregas no período seguinte ser inferior ao número de **linhas** existentes para um determinado tipo de produto, ou o número de entregas ser **igual ou superior**. Na primeira situação verifica-se que seria possível atribuir uma das entregas a uma linha de produção na *time-slot* seguinte. Assim, torna-se apenas necessário verificar se o custo de espera é inferior ao custo de movimentar a entrega com menor peso da fila para a *time-slot* seguinte. Se o custo de esperar for inferior, a entrega com prioridade inferior fica em fila de espera. Pelo contrário, se movimentar mercadoria for menos dispendioso, então a entrega com menor peso é alocada ao *stockyard* e as restantes às linhas. Na segunda situação, as entregas são alocadas todas a docas na *time-slot* atual, já que ocorreria a mesma situação na *time-slot* seguinte se a entrega ficasse em espera. O processo de alocação às *time-slots* é imediato, logo pode ocorrer no instante inicial de cada uma.

Na 3.1 e 3.2 é possível verificar como se desenrola o processo de alocação a *time-slots* na *gate* e nas docas, respetivamente.

Figura 3.1: Segunda etapa - chegada das entregas e processamento na *gate*

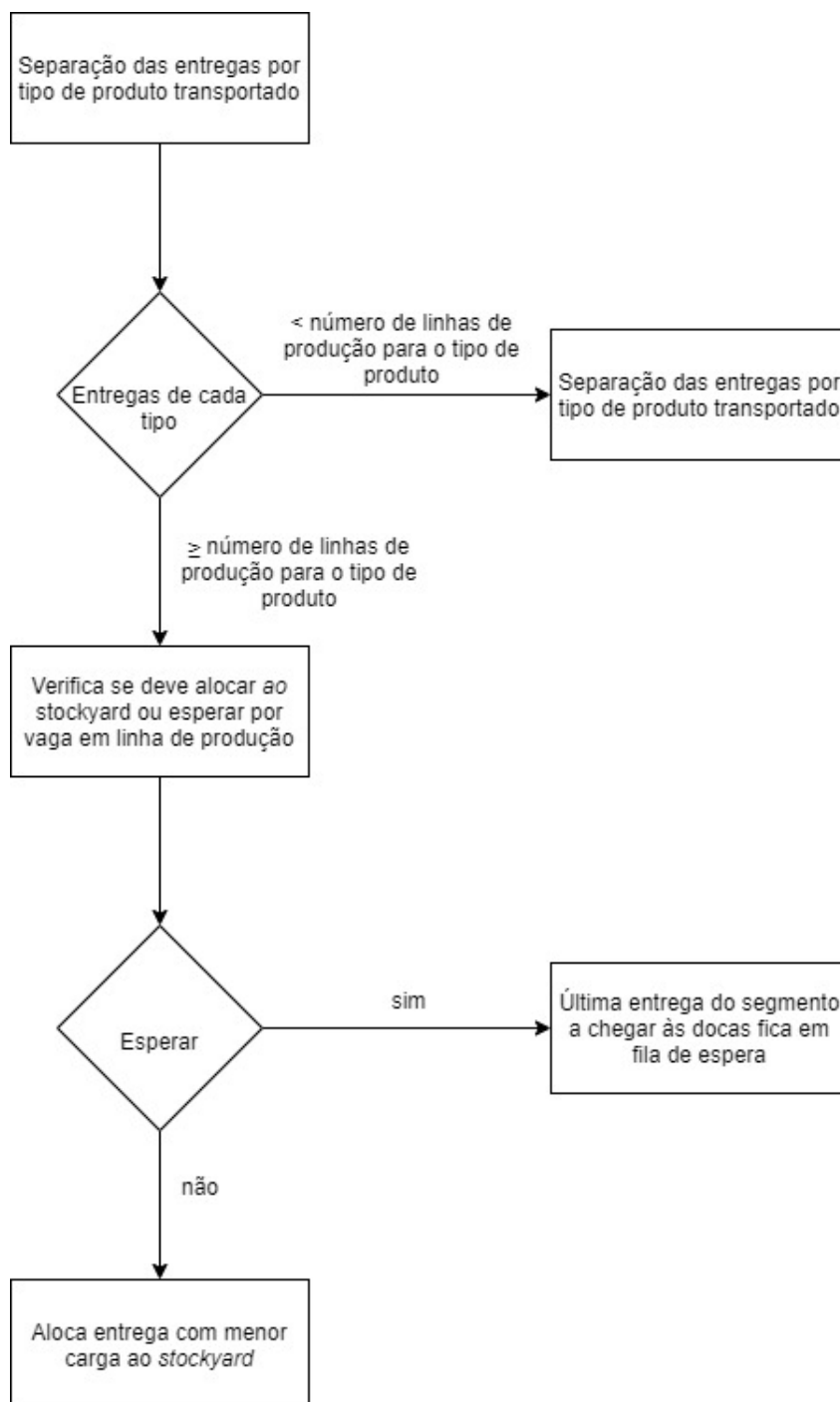


Figura 3.2: Segunda etapa - processamento das docas

Capítulo 4

Aplicação em caso real

Neste capítulo é apresentado o caso de estudo real no qual foram aplicadas as metodologias explicadas no capítulo 3, bem como realizada uma análise dos dados do problema, do valor das constantes e parâmetros dos modelos e, por fim, uma breve explicação dos modelos desenvolvidos com base nas metodologias anteriormente apresentadas.

4.1 Apresentação da empresa

O método de solução proposto foi testado num caso de receção de matéria-prima num centro de transformação. O caso foi baseado na fábrica de celulose e papel *Europac Kraft* do *EuroPac Group*, em Viana do Castelo. O *EuroPac Group* é o quarto maior produtor de *kraftliner* para papel e produtos de cartão. O grupo tem 30 centros de transformação espalhados por Portugal, Espanha e França. O centro de Viana do Castelo encontra-se ativo desde 1993 e produz, anualmente, cerca de 350mil metros cúbicos de papel. Para a produção de papel são consumidos cerca de 700mil metros cúbicos de pinho marítimo e cerca de 180mil metros cúbicos de eucalipto. A maioria das matérias-primas consumidas são originárias de fornecedores nacionais e uma pequena parte de produções próprias.

A madeira é transportada até ao centro de Viana do Castelo por via terrestre, com o uso de camiões especializados. Cada camião transporta apenas um tipo de produto, não podendo ocorrer misturas em nenhuma fase do processo de transporte e receção. A capacidade máxima está limitada por normas nacionais em 28 ton a 48 ton (Antram, 2017). O transporte das matérias-primas é contratado a terceiros.

Atualmente, a receção das matérias-primas é conduzida sem qualquer planeamento, sendo todas as entregas não-planeadas. Um centro de transformação de tamanho médio consegue receber cerca de 120 entregas por dia e o processo decorre como exposto na secção 3.1.

As operações na *gate* demoram menos de 10 min. A carga é pesada e direcionada para uma doca de descarga, tendo em conta as suas características. Existe um local de armazenamento

(*stockyard*) para cada tipo de produto aceite. A operação de descarregamento demora entre 10 min a 15 min e é realizada com recurso a uma grua. No final desta operação o camião é novamente pesado para se calcular o valor da entrega. A operação de abastecimento das linhas de produção decorre ao longo do dia de trabalho (10 a 14 horas por dia). A movimentação interna de matérias-primas é realizada através da utilização de uma frota de veículos do centro de transformação, o que aumenta os custos de operação totais.

O método de tratamento aplicado atualmente na etapa de serviço e na etapa de descarga é o método do FIFO. Este método aliado à falta de planeamento das entregas impossibilita que sejam realizadas descargas diretamente nas linhas, como referido anteriormente.

4.2 Modelos desenvolvidos

Nesta subsecção é feita uma análise dos modelos desenvolvidos. Todos os modelos foram construídos com as constantes e parâmetros definidos mais à frente, diferindo apenas a metodologia aplicada.

Os cenários estudados foram construídos com base nas metodologias apresentadas no capítulo 3. Uma diferença importante entre os modelos analisados é a realização ou não de reserva. A reserva consiste na receção de uma lista de entregas planeadas, no dia anterior à sua realização, e posterior distribuição das mesmas ao longo do dia, alocação a *time-slot* na *gate*, de forma a não existirem chegadas sobrepostas. Este processo é acompanhado da atribuição temporária de uma *time-slot* numa doca, onde deve ser realizada a descarga da matérias-primas. O processamento das entregas na fase das reservas depende da metodologia aplicada no cenário em análise. Nos cenários nos quais não é aplicada a etapa da reserva, todas as entregas são não-planeadas o que leva a que ocorram muitas chegadas sobrepostas.

O primeiro modelo a avaliar corresponde à metodologia atualmente aplicada no processamento das entregas. O método base, que vai servir de termo de comparação, é o cenário FIFO simples, no qual apenas existem entregas não-planeadas. Neste cenário, visto não estar aplicada a fase de reservas ou o receção com base em prioridades desenvolvida, existe uma falta de planeamento que leva a que as entregas apenas possam ser descarregadas no *stockyard*.

O segundo cenário também aplica a metodologia FIFO, mas neste é realizada uma reserva de *time-slots* para as entregas planeadas. Após ser realizada a distribuição das entregas ao longo do dia são somados os atrasos em relação à hora de chegada planeada, levando a uma diferença entre a hora de chegada planeada e hora de chegada real em algumas das entregas. Neste modelo foi estabelecido que as entregas planeadas podem ser descarregadas nas linhas e no *stockyard*, enquanto que as não-planeadas apenas no último.

O cenário terceiro corresponde à implementação da metodologia das prioridades, mas sem ser realizada uma distribuição das entregas. Neste caso, o *dataset* utilizado é igual ao do cenário do FIFO sem reservas, mas o processamento das entregas realiza-se de forma diferente. As entregas neste modelo podem ser todas descarregadas tanto em linhas como no *stockyard*.

O último cenário corresponde à junção do modelo das prioridades desenvolvido, ou seja, reserva das *time-slots* e docas numa primeira etapa e alocação final de acordo com o nível de prioridade, na segunda etapa. À semelhança do que ocorre no FIFO com reserva, também neste modelo são somados atrasos à hora planeada de chegada de uma parte das entregas planeadas

4.3 Descrição dos dados e parâmetros dos modelos

4.3.1 Análise do *dataset*

O *dataset* analisado diz respeito a um dia de entregas no centro de transformação em análise.

O centro de transformação está dividido em duas áreas: *gate*, onde são processadas as entregas aquando da sua chegada, e *docas*, onde os camiões realizam a descarga das matérias transportadas, como mencionado anteriormente. O horário de trabalho nestes locais encontra-se dividido em *time-windows* de 2 hr de duração, que por sua vez, se dividem em *time-slots* de 7 min e 15 min, respetivamente.

No local de descarga são aceites 3 tipos de produtos: eucalipto com e sem casca (tipo A e B, respetivamente) e pinho marítimo (tipo C). Cada tipo de produto tem locais de descarga fixos associados. Os produtos do tipo A têm duas linhas de produção e uma doca no *stockyard*, produtos do tipo B têm uma linha e um *stockyard* e, por fim, produtos do tipo C têm um *stockyard*. Esta distribuição das docas está relacionada com o número de entregas de cada tipo de produto (figura 4.1).

O *dataset* contém informação relativa à hora preferencial de chegada, à carga e ao tipo de produto transportado por cada camião. Adicionalmente, o *dataset* das entregas planeadas contém a restante informação necessária para o cálculo do nível de prioridade de cada uma: comportamento histórico, número adicional de entregas a ser realizado por aquele camião no mesmo dia (cada camião pode ter mais de 1 entrega por dia), origem da entrega, tipo de produto transportado e carga.

O *dataset* das entregas planeadas contém 72 entregas, criadas com base em informação real. Aquando da realização deste trabalho não existiam dados relacionados com entregas planeadas que pudessem ser utilizados neste estudo. Das entregas planeadas, 40% estão marcadas como vindo de fornecedores do mercado. O atributo que permite diferenciar entregas realizadas pelo mesmo camião é o *número de entregas adicionais* a realizar naquele dia (e.g. o camião 2 irá realizar 3 entregas no mesmo dia, na primeira entrega o atributo *número de entregas adicionais* é 2, na segunda entrega este atributo passa assumir o valor de 1 e, por fim, assume o valor 0).

Tanto o número de entregas por *time-window*, como a distribuição destas dentro da mesma, foi gerada de forma aleatória. No entanto, para aproximar o *dataset* do cenário real, foi forçado que 40% das entregas chegassem ao centro de transformação em horas de ponta (9 hr-11 hr, 11 hr-13 hr e 19 hr-21 hr). Nestes períodos o número de chegadas é superior ao número de chegadas nos restantes e à capacidade de processamento na *gate* e *docas*.

As entregas não-planeadas correspondem a 40% das entregas totais. No modelo no qual é implementado a metodologia das prioridades, as entregas não-planeadas estão classificadas como pertencendo ao segmento mais baixo de prioridade (*prioridade muito baixa*). As horas de chegada das entregas não-planeadas foram geradas de forma aleatória, à semelhança das planeadas. No entanto, dado serem não-planeadas, a hora de chegada destas entregas não é controlada e podem mesmo chegar fora das horas de trabalho do centro de transformação. No caso das entregas que chegam antes da hora de abertura apenas têm de esperar para serem processadas. No caso de chegarem depois da hora de fecho são tratadas de forma normal na *gate*, mas nas docas apenas se mantêm em funcionamento os *stockyards*.

Nos modelos em que é realizada reserva, são gerados atrasos aleatórios, isto é, a hora de chegada real não corresponde à hora de chegada planeada de cada entrega. A partir da análise dos dados foi possível constatar que cerca de 54% das entregas chegam com atraso, cerca de 24% chegam antes da hora marcada, e apenas 22% chegam à hora marcada. Os atrasos são incorporados de forma a reproduzir da forma mais fidedigna possível a realidade das chegadas.

Como mencionado anteriormente, os modelos irão analisar as entregas de um dia de trabalho no centro de transformação, o que corresponde a 120 entregas. Das 72 entregas planeadas, 57 têm origem em florestas e 15 são provenientes de fornecedores do mercado. As restantes 48 entregas são entregas não planeadas, logo é irrelevante a sua origem para o problema,

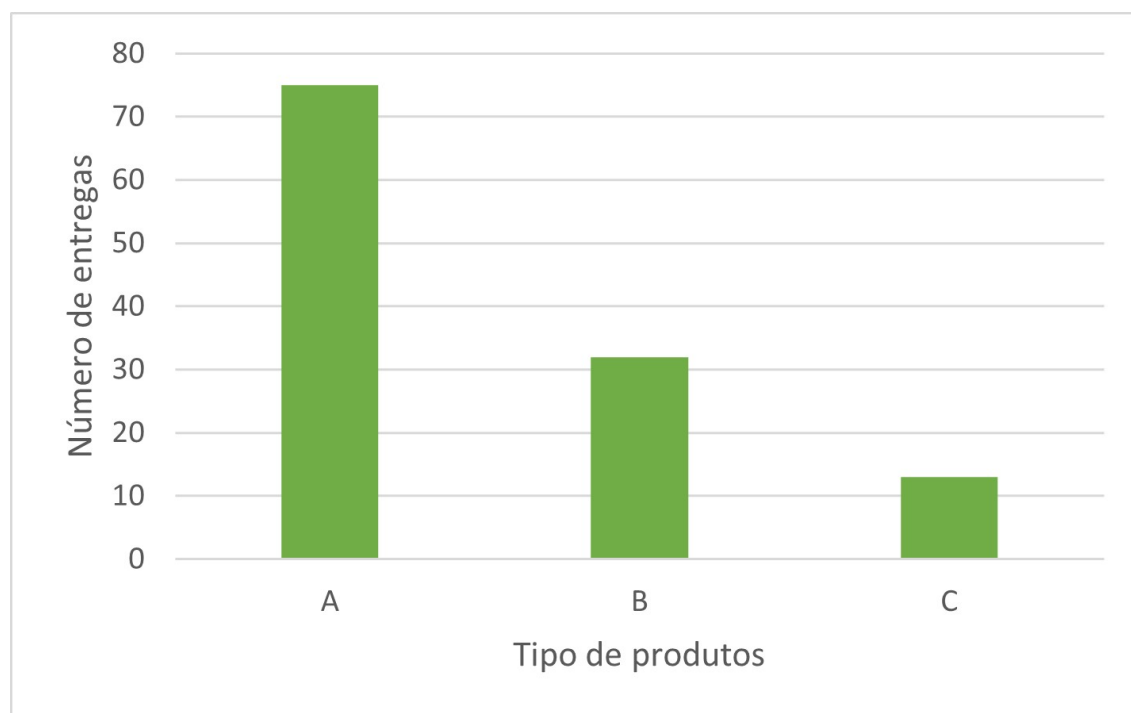


Figura 4.1: Distribuição por tipo de produtos

4.3.2 Características do caso de estudo

4.3.2.1 Dados gerais relativos à operação de receção

A *gate* trabalha desde as 6 hr da manhã até às 21 hr e o período de trabalho encontra-se dividido em *time-windows*, que por sua vez se encontram divididos em *time-slots*. Cada *time-window* tem uma duração de 2 horas. Por sua vez, as *time-slots* têm duração de 7 minutos (L^G), cada. O primeiro turno de trabalho nas docas inicia-se 1 hora depois da abertura da *gate*, ou seja, às 7 hr e termina às 21 hr. O dia de trabalho das docas encontra-se dividido de forma semelhante à *gate*, em *time-windows* e *time-slots*, apenas com uma diferença na duração das últimas. Nas docas a duração de cada *time-slot* corresponde à duração máxima do processo de descarregamento de um camião, 15 minutos (L^D). A viagem entre a *gate* e as docas (L_{gd}) tem uma duração média de 10 minutos.

Relativamente às docas, estas encontram-se divididas em linhas de produção e em *stockyard*. Os descarregamentos realizados nas primeiras podem ser utilizados diretamente, enquanto que os descarregamentos realizados no *stockyard* têm posteriormente de ser movimentados para linhas. A esta movimentação de matérias-primas está associado um custo por cada tonelada de matéria, pelo que, é dada prioridade ao descarregamento em linhas de produção.

As entregas irão chegar ao centro de transformação e numa primeira fase são processadas na *gate*. Posteriormente, entram e são direcionadas às docas para descarregarem a sua carga. As docas estão divididas em linhas de produção e *stockyard*, tendo cada uma das anteriores 3 locais de descarga.

Em relação a custos, a movimentação de matéria-prima entre o *stockyard* e as linhas de produção é de 0.35€/ton (C^m). Por sua vez, o custo de espera é de 0.51€/min (C^e). Visto as descargas no *stockyard* implicarem custos de movimentação das matérias-primas, é preferível descarregar diretamente nas linhas.

Na metodologia FIFO não é possível a realização de descargas diretamente nas linhas de produção. Por outro lado, com a aplicação da metodologia baseada em conceitos de *revenue management* proposta isto passa a ser possível. Neste caso, apenas são realizadas descarregamentos no *stockyard* quando a fila de espera é demasiado extensa, ou seja, para elevados tempos de espera. Tomemos como exemplo um carregamento de 30 toneladas. Este carregamento apenas é direcionado para o *stockyard* caso o tempo de espera seja superior a 20.5 minutos ($20.5 \cdot 0.51 = 30 \cdot 0.35$), caso contrário compensa esperar para que surja uma vaga nas linhas.

Na tabela 4.1 é possível ver um resumo da informação anteriormente exposta.

4.3.2.2 Parâmetros para o modelo das prioridades

Os modelos construídos com a aplicação da metodologia das prioridades necessitam, na fase da alocação temporária (reservas), de parâmetros que permitam segmentar as entregas e proceder à sua alocação a *time-slots* nas docas.

Numa primeira fase, para realizar a reserva de *time-slots* na *gate* e alocação temporária das entregas a *time-slots* nas docas, são necessários os parâmetros do peso de cada componente da

prioridade e os limites de cada segmento. Neste modelo existem 5 parâmetros que entram na fórmula da prioridade:

- σ_1 - comportamento histórico das últimas 15 entregas
- σ_2 - número de entregas restantes a ser realizadas pelo camião
- σ_3 - correspondência entre o produto transportado e o produto aceite nas linhas
- σ_4 - entrega proveniente de origem prioritária (e.g. portos marítimos)
- σ_5 - camião com carga máxima

Os pesos destes critérios na fórmula das prioridades é o seguinte: $\lambda_1 = 0.5$, $\lambda_2 = 0.2$, $\lambda_3 = \lambda_4 = \lambda_5 = 0.1$. A prioridade de cada entrega tem valores compreendidos entre 0 e 1.

O segmento de cada entrega depende da prioridade da mesma. Após calcular a prioridade são usados os valores de limites dos intervalos para classificar as entregas em segmentos. Na fase de reserva as entregas são classificadas em *baixa*, *média* ou *alta* prioridade ($n = 3$, níveis de prioridade). Os valores de limites dos intervalos são: $\delta_1 = 0.6$ e $\delta_2 = 0.3$. Assim, entregas com prioridade inferior a 0.3 classificam-se como *baixa* prioridade, entregas com prioridade entre 0.3 e 0.6 como *média* prioridade e entregas com prioridade *superior* a 0.6 como alta prioridade.

Na fase de reservas é, ainda, necessário ter em conta o parâmetro π . Este assume o valor de 10% no caso no qual foi aplicado.

No dia das entregas realiza-se a alocação final das mesmas a *time-slots*. Nesta etapa juntam-se as entregas não-planeadas e os atrasos das entregas planeadas. No caso de estudo em análise o parâmetro de tolerância (α) assume o valor de 4 min. Uma entrega que chegue com uma diferença inferior a 4 min em relação à sua hora de chegada planeada é classificada como tendo atraso igual a 0. Para o cálculo do novo nível de prioridade são considerados dois fatores: a prioridade inicial e o atraso. Estes pesos são traduzidos na prioridade final pelos parâmetros δ_1 e δ_2 , que assumem o valor de 0.5. Relativamente aos segmentos, nesta fase passam a existir 4. Aos segmentos existentes, *baixa*, *média* e *alta* prioridade, junta-se o segmento *muito baixa* prioridade. Todas as entregas não-planeadas encontram-se neste nível de classificação. Também entregas planeadas que apresentem elevados atrasos podem passar a ser classificadas como *muito baixa* prioridade. O processo de *downgrade* das entregas planeadas baseia-se no parâmetro Δ , que assume o valor de 30 min.

Na tabela 4.1 encontra-se um resumo dos valores de cada parâmetro do modelo das prioridades.

Tabela 4.1: Valores das constantes dos modelos

Constante	Valor
Input data:	
D	$= \{1, 2, \dots, 6\}$
L^G	$= 7 \text{ min}$
L^D	$= 15 \text{ min}$
g^i	$= 364$
d^i	$= 420$
d^f, g^f	$= 1260$
L_{gd}	$= 10 \text{ min}$
t_d	$= t_1 = t_2 = t_4 = \{A\}; t_3 = t_5 = \{B\}; t_6 = \{C\}$
C^e	$= 0.51 \text{ €/min}$
C^m	$= 0.35 \text{ €/min}$
Parâmetros modelo:	
n	$= 3 \{baixa, média e alta prioridade\}$
π	$= 10\%$
λ	$= \lambda_1 = 0.5; \lambda_2 = 0.2; \lambda_3 = \lambda_4 = \lambda_5 = 0.1$
γ	$= \gamma_1 = 0.6; \gamma_2 = 0.3$
α	$= 4 \text{ min}$
Δ	$= 30 \text{ min}$
δ_1	$= 0.5$

Capítulo 5

Resultados obtidos

Neste capítulo são analisados os resultados obtidos dos modelos desenvolvidos. A análise de resultados divide-se nas seguintes secções: indicadores de custo, indicadores temporais e indicadores de afetação.

5.1 Indicadores de custo

Tabela 5.1: Indicadores de custo

Custo(€)	FIFO s/reserva	FIFO c/reserva	Prioridade s/reserva	Prioridade c/reserva
<i>Gate</i>	3287.97	1589.67	3287.97	1589.67
Docas	2482.17	702.27	715.02	488.07
Total de espera	5770.14	2291.94	4002.99	2077.74
Movimentação	1317.40	671.65	371.00	270.20
Total	7087.54	2963.59	4373.99	2347.94

Os resultados obtidos nesta secção indicam-nos o custo extra de receção obtido em cada um dos cenários avaliados. Os custos estão divididos em custo de espera na *gate*, custo de espera nas docas e custo de movimentação de mercadorias entre o *stockyard* e as linhas de produção.

Relativamente aos custos de espera na *gate*, é possível verificar que os modelos produzem custos iguais dependendo de ser realizada ou não reserva. Os modelos nos quais é realizada reserva (FIFO com reserva e prioridade com reserva) apresentam um custo de espera na *gate* de 1589.67€, enquanto que os restantes (FIFO sem reserva e prioridade sem reserva) apresentam um custo de 3287.97€. Ao analisar estes valores é fácil de constatar que a realização de reservas acarreta enormes vantagens a nível económico, permitindo uma redução dos custos de receção na *gate* em cerca de 52%. Apesar dos modelos de FIFO obterem valores semelhantes aos modelos das prioridades, é importante salientar que nos modelos do FIFO não é realizada uma segmentação das entregas em níveis de prioridade.

Relativamente aos custos de espera nas docas, os resultados já se diferenciam mais de cenário para cenário. Após uma análise é possível verificar que o modelo base, FIFO sem prioridade, é o modelo que apresenta maior custo extra de receção nas docas. Isto é justificado por, neste cenário, apenas ser possível realizar descargas no *stockyard* devido à falta de planeamento das entregas. Em consequência, é também neste modelo que se verifica maior custo de movimentação de mercadorias entre o *stockyard* e as linhas. Com a implementação da fase de reservas no modelo FIFO, passa a ser possível realizar a descarga de parte das entregas nas linhas de produção. Neste cenário, as entregas planeadas podem ser descarregadas tanto nas linhas como no *stockyard*, enquanto que as não-planeadas apenas no último. A possibilidade de descarga nas linhas diminui significativamente o custo de espera para realização de descarga, atingindo mesmo valores inferiores ao modelo da prioridade sem reserva. A redução das descargas no *stockyard* leva também a uma redução do custo de movimentação de mercadorias, como seria de esperar. No cenário da prioridade sem reserva é possível realizar a totalidade das descargas em ambos os locais (*stockyard* e linhas de produção). Apesar disto, é possível verificar que o custo de receção nas docas é superior ao verificado no cenário do FIFO com reservas. Isto é, em parte, justificado pelo custo de receção no *stockyard*. No modelo do FIFO com reserva a alocação de todas as entregas não-planeadas ao *stockyard* leva a um alívio da fila de espera nas linhas de produção, o que gera a menores custos de espera nas mesmas. Por outro lado, no cenário da prioridade sem reserva, apenas são alocadas entregas ao *stockyard* quando o custo de movimentação é superior ao custo de espera por uma vaga nas linhas na *time-slot* seguinte. Por fim, no modelo da prioridade com reserva pode alocar-se entregas às linhas e ao *stockyard*, à semelhança do modelo anterior. No entanto, neste modelo a distribuição das entregas planeadas ao longo do dia leva a custos nas docas inferiores aos restantes modelos. Também neste modelo o custo de movimentação de mercadorias é mínimo.

Após uma comparação entre todos os modelos é possível verificar que a implementação do modelo de prioridades com reserva conduz a uma enorme poupança no custo extra de receção. Com a implementação deste modelo é possível obter uma redução dos custos totais de receção em cerca de 66% em relação ao modelo base (FIFO sem reserva) e de cerca de 21% em relação ao modelo do FIFO com reserva. A redução de custo relativamente ao cenário do FIFO com reserva pode numa primeira análise não parecer muito significativa, mas não se pode esquecer que, este modelo, não realiza processamento das entregas de acordo com o seu segmento de prioridade. A partir da análise dos custos de receção na *gate*, é possível verificar que a realização de reservas acarreta enormes vantagens económicas, produzindo uma redução de custos de 3287.97€ para 1589.67€, como é possível verificar na tabela 5.1.

5.2 Indicadores temporais

Os indicadores temporais estão relacionados com o tempo de espera de cada entrega. O tempo de espera de cada entrega está dividido em tempo de espera na *gate* e tempo de espera nas docas. Nesta análise são calculados o tempo médio de espera na *gate* e as docas, o tempo médio de espera de cada entrega e o tempo máximo de entrega.

Tabela 5.2: Indicadores temporais

Tempo de espera(min)	FIFO s/reserva	FIFO c/reserva	Prioridade s/reserva	Prioridade c/reserva
Médio na <i>gate</i>	53.73	25.98	53.73	25.98
Médio nas docas	40.56	11.48	11.68	7.98
Médio de entrega	94.28	37.45	65.41	33.95
Máximo de entrega de entrega	280.00	105.00	240.00	158.00

Como é possível verificar a partir da análise da tabela 5.2, os tempos médios de espera na *gate* assumem valores iguais nos dois modelos com reserva e nos dois modelos sem reserva. Os resultados obtidos no tempo médio de espera na *gate* vão de encontro aos resultados obtidos no custo de espera na mesma. Como referido anteriormente, apesar dos modelos FIFO obterem resultados semelhantes aos modelos nos quais é implementada a metodologia desenvolvida, é importante salientar que os primeiros não têm em conta a prioridade de cada entrega. A análise dos tempos de espera na *gate* permite confirmar que a implementação de um processo de reserva no dia anterior à entrega contribui significativamente para a redução do tempo de espera de cada entrega.

No que diz respeito ao tempo de espera nas docas, é possível verificar que o modelo base, FIFO sem reservas, é o modelo que apresenta o maior valor. Isto deve-se ao facto de neste modelo, devido à falta de planeamento, as entregas serem apenas alocadas ao *stockyard*. Os modelos de FIFO com reserva e prioridade sem reserva, apresentam valores de tempos de descarregamento semelhantes. Por outro lado, é possível verificar que o modelo da prioridade com reserva apresenta tempo médio de espera bastante inferior ao modelo da prioridade sem reserva. Assim, tendo em conta que em ambos os modelos é possível descarregar nas linhas e *stockyard*, conclui-se que a realização de reservas acarreta também vantagens na etapa de descarregamento, e não apenas na etapa de serviço.

Os tempos médios de cada entrega, vêm comprovar que o modelo da prioridade com reserva desenvolvido é superior aos restantes. O tempo de espera médio de cada entrega no modelo de prioridade com reserva é cerca de 63% inferior ao tempo médio de receção no FIFO sem reserva. O tempo médio de espera é ainda inferior para as entregas com prioridade mais elevada.

Por fim, é possível verificar que o tempo máximo de espera no modelo de prioridade com reserva é bastante superior ao valor máximo do segundo melhor modelo, o FIFO com reserva. Isto ocorre uma vez que, no modelo da prioridade, uma entrega que se encontre no segmento mínimo de prioridade pode ter de esperar elevados períodos de tempo, enquanto que no modelo do FIFO as entregas não são alocadas conforme o seu segmento, mas sim consoante o seu tempo de chegada ao centro de transformação.

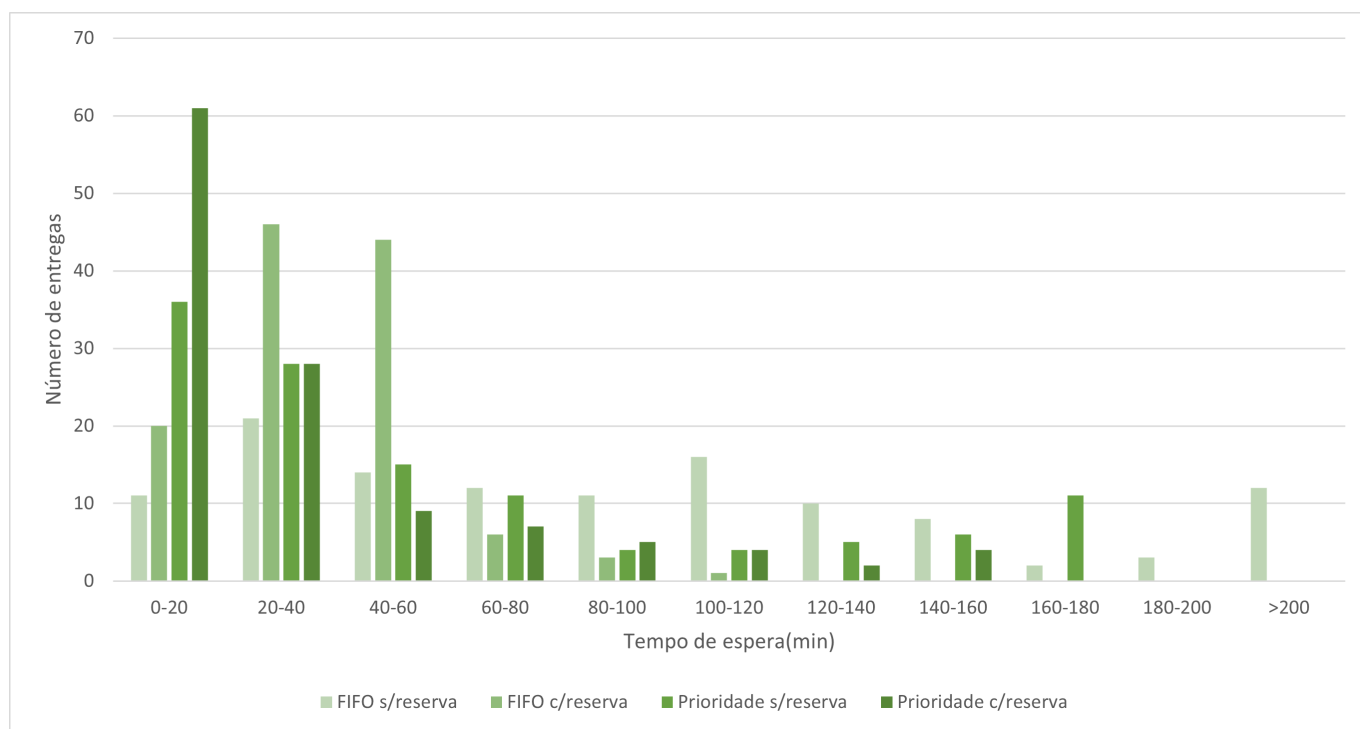


Figura 5.1: Histograma com frequência de tempo de espera para 120 entregas, para todos os modelos desenvolvidos

A figura 5.1 apresenta a distribuição dos tempos de espera de cada entrega para os vários modelos desenvolvidos. No histograma apresentado é possível verificar que mais de metade das entregas no modelo no qual foi implementado a prioridade com reserva têm de esperar 20 minutos ou menos para concretizar todas as operações. Já no modelo do FIFO com reserva, a maioria das entregas (90 entregas), apresentam um tempo de espera entre 20 minutos e 60 minutos. Por fim, é ainda possível concluir que o modelo do FIFO sem reserva apresenta um elevado número de entregas com tempos de espera superiores a 180 minutos (15 entregas).

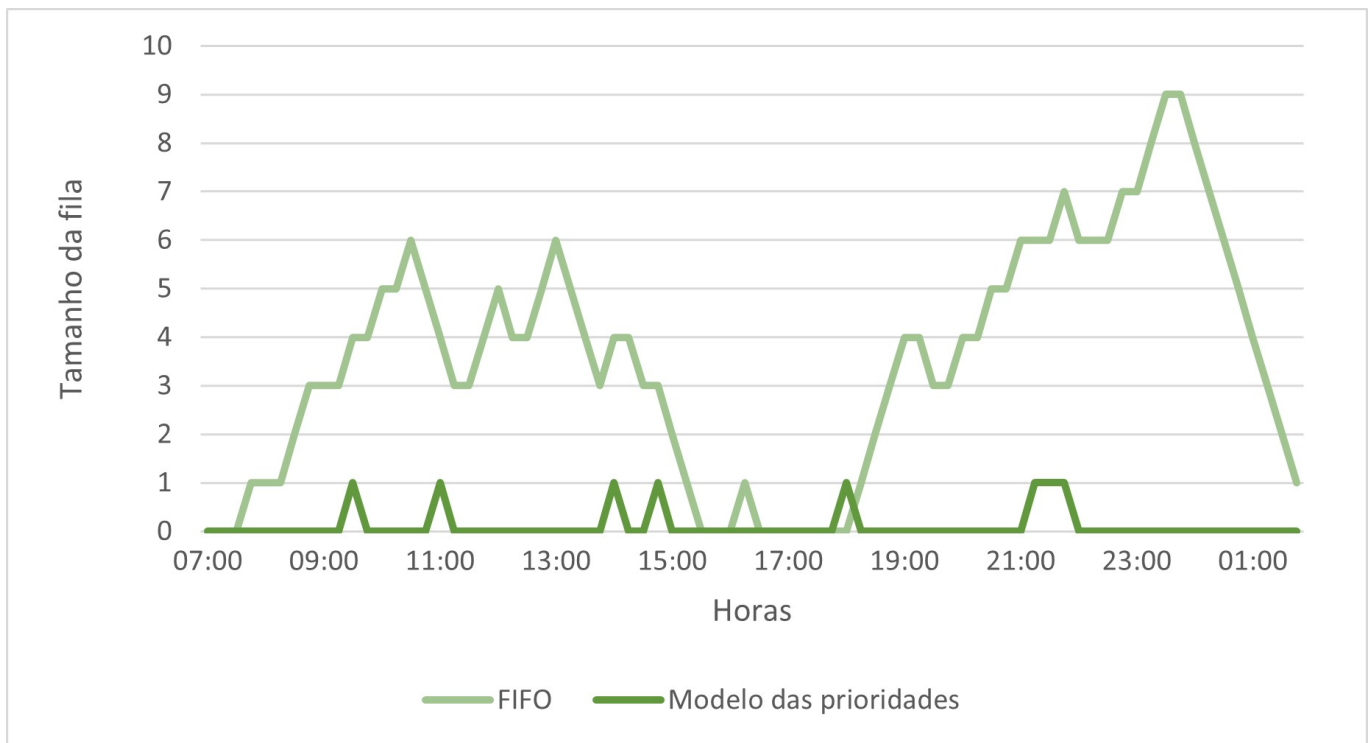


Figura 5.2: Progressão do número de entregas em fila de espera ao longo do dia

Na figura 5.2 é possível analisar a progressão da fila de espera nas docas ao longo do dia, incluindo nas horas extra de trabalho.

Outra vantagem da implementação da metodologia da prioridade com reserva é a estabilização da fila de espera nas docas. Como é possível verificar o número de entregas em fila de espera nas docas, no modelo da prioridade com reserva, nunca ultrapassa 1 unidade, enquanto que no FIFO chega mesmo a atingir o valor de 9 unidades, após o encerramento das docas.

No gráfico apresentado é também possível verificar a existência de maior número de entregas em espera nas horas de ponta. As horas de ponta verificam-se nas *time-windows* 9 hr-11 hr e 11 hr-13 hr e, posteriormente, a partir das 19 hr.

5.3 Indicadores de afetação

Nesta secção são analisados os indicadores de afetação dos recursos existentes (*time-slots* na *gate* e docas). Para tal é inicialmente calculado o número de entregas que são descarregadas nas linhas e no *stockyard* e o número de *time-slots* disponibilizadas em cada um destes locais. É ainda calculado o número de entregas que chegam ao centro de transformação depois da hora de fecho (21 hr), o número de entregas processadas na *gate* depois da hora de encerramento (fila de espera da *gate*) e, finalmente, o número de entregas processadas nas docas depois da hora de encerramento (fila de espera docas).

Antes de partir para a análise dos indicadores de afetação foi necessário calcular o número de *time-slots* extra necessárias, tanto na *gate* como no *stockyard*, para além da hora de encerramento

do centro de transformação. É importante salientar que após a hora de encerramento (21 hr), as linhas param a produção, mas o *stockyard* e a *gate* podem trabalhar horas extra.

Tabela 5.3: Número de *time-slots* extra na *gate* e *stockyard*

	FIFO s/reserva	FIFO c/reserva	Prioridade s/reserva	Prioridade c/reserva
<i>Gate</i>	22	16	22	16
<i>Stockyard</i>	20	9	15	9

Na tabela 5.3 é possível verificar o número extra de *time-slots* necessárias na *gate* e *stockyard* para todos os modelos.

O número de entregas realizadas é igual em todos os modelos (120 entregas), variando apenas as suas horas de chegada. Os modelos FIFO com reservas e prioridade com reservas apresentam um *dataset* semelhante ao nível de hora real de chegada de cada entrega e os restantes modelos apresentam, também, horas de chegada semelhantes das suas entregas. Os modelos diferenciam-se entre do no número de entregas processadas depois da hora de encerramento, uma vez que a metodologia aplicada no seu processamento varia de modelo para modelo. No entanto, após a hora de encerramento, as entregas são processadas de igual forma em todos os modelos, como referido anteriormente.

Tabela 5.4: Número de entregas processadas depois da hora de encerramento

	FIFO s/reserva	FIFO c/reserva	Prioridade s/reserva	Prioridade c/reserva
Chegadas	2	6	2	6
Processadas na <i>gate</i>	22	7	22	7
Processadas nos <i>stockyards</i>	31	10	26	10

Na tabela 5.4 é possível verificar que o número de entregas que chega depois da hora nos modelos com reserva é superior ao número nos modelos sem reserva. Isto deve-se a atrasos de entregas planeadas em relação à hora de chegada planeada. As chegadas atrasadas nos modelos com reserva distribuem-se em 4 entregas planeadas, atrasadas, e 2 entregas não-planeadas. Como seria de esperar o número de entregas processadas na *gate* é igual aos pares nos modelos, uma vez que entre os modelos com e sem reserva apenas varia a distribuição das entregas e não a sua forma de processamento. Já nas docas, verifica-se que o número de entregas à espera de ser processadas depois da hora de encerramento varia entre os modelos. No FIFO sem reserva é normal existir um maior número de entregas à espera de ser processadas, visto existir menor capacidade de receção relativamente aos restantes modelos. O modelo de prioridade sem reserva, apesar de ter o dobro da capacidade do modelo base, apresenta também um elevado número de entregas para processar. Isto deve-se sobretudo à concentração de entregas em determinadas horas de chegada. Por fim, tanto os modelos FIFO com reserva como prioridade com reserva apresentam 10 entregas para ser processadas depois da hora de encerramento. O número de entregas que chegam depois da hora de encerramento são parte maioritária deste número.

Por fim, a taxa de afetação é calculada com base nas *time-slots* disponíveis em horário normal somadas das *time-slots* necessárias para tratar as entregas que chegam e que se encontram em fila depois da hora de encerramento. Para se realizar uma análise mais correta das taxas de ocupação é calculada a taxa de ocupação das linhas separada da taxa de ocupação do *stockyard*.

Tabela 5.5: Ocupação dos recursos disponíveis

Afetação(%)	FIFO s/reserva	FIFO c/reserva	Prioridade s/reserva	Prioridade c/reserva
<i>Gate</i>	80.00	83.33	80.00	83.33
Linhas	0.00	33.33	50.00	55.95
<i>Stockyard</i>	52.63	32.82	16.90	13.33

Na tabela 5.5 é possível verificar que a ocupação da *gate* é semelhante a todos os modelos, igual ou superior a 80.00%. No modelo do FIFO sem reserva a ocupação das linhas é 0.00% dado que nesse modelo apenas é possível realizar entregas no *stockyard*. Nos restantes modelos já se verifica ocupação das linhas, com esta a ter valores máximos no modelo da prioridade com reserva.

5.4 Sumário

A partir da análise de todos os indicadores, é possível concluir que o *bottleneck* do processo de receção é a *gate*. A *gate* apresenta maiores custos de espera do que as docas em todos os modelos estudados.

A diferença entre os custos de receção na *gate* e nas docas é menor no modelo do FIFO sem reserva, uma vez que nesse modelo apenas existem três locais para realizar a descarga das entregas, o que leva à formação de maiores filas. Nos modelos das prioridades (prioridade sem reserva e prioridade com reserva) a diferença de custo (5.1), e de tempo de espera (5.2), entre a *gate* e as docas toma proporções bastante significativas, uma vez que nestes a capacidade de receção nas docas é bastante superior à da *gate*. Mais uma vez é importante salientar que apesar dos modelos do FIFO com reserva e prioridade com reserva apresentarem custos de espera semelhantes na *gate*, no último é realizado um processamento das entregas de acordo com o seu nível de prioridade.

A partir da análise dos resultados obtidos para os cenários de prioridade sem reserva e prioridade com reserva é possível verificar que a implementação de uma fase de reservas leva a uma diminuição significativa do custo de espera na *gate*. Nestes cenários a implementação da fase de reserva levou a uma diminuição dos custos extra de receção em cerca de 47%. A metodologia desenvolvida apresenta uma redução dos custos em cerca de 66% quando comparado com o método do FIFO atualmente utilizado.

Por fim, é possível verificar que a ocupação das *time-slots* na *gate* é também bastante superior à ocupação das *time-slots* nas docas. Isto permite concluir que este recurso é muito mais escasso

comparado com os restantes (docas). Um aumento da capacidade de processamento na *gate* conduziria a um equilíbrio entre as taxas de ocupação desta e das docas e permitiria uma redução ainda maior do custo extra de receção diário.

Capítulo 6

Conclusão

Nesta secção é realizada uma última análise do trabalho desenvolvido e são propostas melhorias para o futuro.

6.1 Conclusões

O presente trabalho teve como intuito o desenvolvimento de uma metodologia para o planeamento e receção das entregas num centro de transformação de madeira.

Primeiramente, foi feita uma análise da situação atual do processo de receção no centro de transformação. No modelo inicial as entregas eram todas não-planeadas o que impossibilitava qualquer tipo de planeamento das chegadas, de forma a reduzir os tempos de espera. Com este modelo, o centro de transformação apresentava um custo extra de receção diário de 7087.54€.

Posteriormente, foi desenvolvida uma nova metodologia de tratamento das entregas baseada na aplicação de conceitos de *revenue management*. Na literatura existente foi possível verificar que a receção de entregas em portos marítimos apresenta bastantes semelhanças, do ponto de vista logístico, ao caso de estudo presente. Nos casos analisados de congestionamento em portos marítimos foi possível constatar que a implementação de um sistema de marcações conduziu a enormes diminuições no tempo de processamento de cada entrega. Com base nestes sistemas de marcação foi desenvolvido um sistema, para as entregas planeadas, que permite a alocação de entregas a *time-slots* e a docas, no dia anterior a estas serem realizadas, com o objectivo de diminuir o custo extra de receção. Para a alocação das entregas a *time-slots* foram utilizados conceitos de *revenue management*. Este processo consiste na segmentação das entregas em níveis de prioridade e posterior alocação às *time-slots* baseado nesse mesmo nível. Entregas classificadas num segmento superior têm mais *time-slots* disponíveis para serem alocadas e têm prioridade em relação a entregas de segmentos mais baixos. O planeamento de uma parte das entregas permitiu que estas pudessem ser descarregadas diretamente nas linhas de produção, o que conduziu a enormes reduções do tempo de espera e, consequentemente, do custo de receção. No dia da realização das

entregas são adicionadas as entregas não-planeadas e a alocação às *time-slots* é feita com base no critério da prioridade. O planeamento das entregas permite também a redução dos custos de movimentação de matéria-prima dentro do centro de transformação, dado que se torna possível descarregar diretamente nas linhas de produção.

A metodologia desenvolvida conduz a ganhos monetários de cerca de 66% relativamente ao método usado atualmente. Isto foi conseguido devido à redução significativa verificada no tempo médio de receção de cada entrega. A nova metodologia levou ainda a uma diminuição das horas extra de trabalho necessárias para completar todas as entregas e permitiu um melhor aproveitamento das linhas de produção ao tornar possível a realização de descarregamentos nas mesmas. Para além das vantagens financeiras para o centro de transformação, o planeamento das entregas acarreta também vantagens para as transportadoras. Com um planeamento mínimo seria possível às transportadoras reduzir o número de camiões necessários para realizar as suas operações e reduzir o custo de horas extra pagos aos trabalhadores.

Para o funcionamento do sistema de reservas desenvolvido é essencial a existência de uma comunicação eficiente entre as transportadoras e o centro de transformação.

6.2 Trabalho futuro

O modelo desenvolvido podia beneficiar da implementação de sistemas de rastreamento das entregas planeadas de forma a ser possível verificar o estado da entrega. Nos casos em que a entrega sofre elevados atrasos isto poderia levar a uma alocação mais otimizada das *time-slots* da *gate* a camiões que se encontrassem em fila de espera.

No modelo desenvolvido foram implementadas *time-slots* com duração fixa, independentemente do tipo e da quantidade de mercadoria transportada. Devido à falta de controlo prévio e à falta de dados em relação ao processo tornou-se impossível fazer um estudo mais aprofundado da duração ótima de cada *time-slot*. Como tal, foi adotada a duração máxima do processo de descarga, o que gera *idle time*, quando o processo demora menos de 7 min na *gate* e menos de 15 min nas docas.

Bibliografia

- Abdelmagid, A. M., Gheith, M. S., and Eltawil, A. B. (2020). A binary integer programming formulation and solution for truck appointment scheduling and reducing truck turnaround time in container terminals. *2020 IEEE 7th International Conference on Industrial Engineering and Applications, ICIEA 2020*, pages 149–153.
- Antram (2017). Novo regulamento de pesos e dimensões.
- Audy, J.-f. and Rönnqvist, M. (2012). Planning methods and decision support system in vehicle routing problems for timber transportation: A review planning methods and decision support systems in vehicle routing problems for timber transportation: a review.
- Carlsson, D. and Rönnqvist, M. (2007). Backhauling in forest transportation - models, methods and practical usage. pages 1–24.
- Chang, X., Zeng, Q., and Chen, W. (2013). Optimization model for truck appointment in container terminals. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 96:1938–1947.
- Chen, G. and Yang, Z. (2010). Optimizing time-windows for managing export container arrivals at chinese container terminals. *Maritime Economics and Logistics*, 12(1):111–126.
- Chen, J. C., Chiang, W.-C., and Xu, X. (2007). An overview of research on revenue management: current issues and future research. 1.
- Frank, M., Friedemann, M., and Schröder, A. (2008). Principles for simulations in revenue management. *Journal of Revenue and Pricing Management*, 7(1):7–16.
- Gorin, T., Brunger, W. G., and White, M. M. (2006). No-show forecasting: A blended cost-based, pnr-adjusted approach. *Journal of Revenue and Pricing Management*, 5:188–206.
- Grebner, D., Grace, L., Stuart, W., and Gilliland, D. (2005). A practical framework for evaluating hauling costs.
- Huynh, N. (1989). A recursive algorithm for order cyle-time that minimizes logistics cost. *Journal of the Operation Research Society*, 2100(4):367–377.
- Huynh, N. (2009). Reducing truck turn times at marine terminals with appointment scheduling. *Transportation Research Record*, 2100:47–57.
- Huynh, N. and Walton, C. M. (2008). Robust scheduling of truck arrivals at marine container terminals. *Journal of Transportation Engineering*, 134(8):347–353.
- Klein, R., Koch, S., Steinhardt, C., and Strauss, A. K. (2020). A review of revenue management: Recent generalizations and advances in industry applications. *European Journal of Operational Research*, 284(2):397–412.

- Kuyumcu, A., Yildirim, U., Hyde, A., Shanaberger, S., Hsiao, K., Donahoe, S., Wu, S., Murray, M., and Maron, M. B. (2018). Revenue management delivers significant revenue lift for holiday retirement. *Interfaces*, 48:7–23.
- Malladi, K. T. and Sowlati, T. (2017). Optizimization of operational level transportation planning in forestry: a review. *International Journal of Forest Engineering*, 28(3):198–210.
- Marques, A. F., Rönnqvist, M., D’Amours, S., Weintraub, A., Gonçalves, J., Borges, J., and Flisberg, P. (2012). Solving the raw material reception problem using revenue management principles: an application to a portuguese pulp.
- Murty, K. G., Wan, Y. W., Liu, J., Tseng, M. M., Leung, E., Lai, K. K., and Chiu, H. W. (2005). Hongkong international terminals gains elastic capacity using a data-intensive decision-support system. *Interfaces*, 35(1):61–75.
- Palmgren, M., Rönnqvist, M., and Värbrand, P. (2004). A recursive algorithm for order cycle-time that minimizes logistics cost. *Journal of the Operation Research Society*, 11:447–464.
- Phan, M. H. and Kim, K. H. (2015). Negotiating truck arrival times among trucking companies and a container terminal. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 75:132–144.
- Quante, R., Meyr, H., and Fleischmann, M. (2009). Revenue management and demand fulfillment: Matching applications, models and software. pages 31–62.
- Rönnqvist, M. (2003). Optizimization in forestry. 284:267–284.
- Talluri, K. T. and Ryzin, G. J. V. (2005). *The theory and practice of Revenue Management*. Springer, xxxii edition.