

Dimensionamento de carga em contentor com uma perspetiva de custos

Joana Rodrigues Queirós Mota

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. Pedro Alexandre Rodrigues João



Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial

2019-07-15

All our knowledge has its origins in our perceptions
Leonardo Da Vinci

Resumo

Na atualidade, o custo associado ao transporte de mercadoria toma uma maior relevância pelo fenómeno da globalização. A este custo, estão associados os fatores de carga mas também o processo de alocação desta ao transporte. O problema reside em conhecer qual é o número de unidades máxima passível de ser transportada e qual o custo de total marginal associado à colocação de uma unidade extra. A otimização do número de unidades a carregar pode não corresponder ao resultado mais prático, uma vez que esta pode estar associada a um método de carregamento manual, que implica um aumento do tempo de carregamento e um aumento do custo associado ao projeto.

A metodologia passou pela criação de um sistema de apoio à decisão. Este sistema tem como objetivo o cálculo do tempo de carga e do número de unidades máximo esperado para cada metodologia de carregamento. As metodologias de carregamento subdividem-se em mecânicas ou manuais, sendo que a combinação destas origina também carregamentos do tipo híbrido. Desta forma, é possível comparar o custo marginal e tempo de carga para as diferentes metodologias e avaliar qual é o tipo de carregamento pelo qual se deve optar e qual é o número de unidades a transportar.

Conclui-se que as metodologias manuais tendem a aumentar a ocupação do transporte mas em contrapartida levam um tempo maior, ao contrário de metodologias mecânicas que tendem a diminuir a taxa de ocupação do transporte e também o tempo de carregamento. Os resultados em carregamentos do tipo híbrido tendem a obter resultados mais equilibrados em ambos os fatores.

Dimensioning container cargo with a cost perspective

Abstract

At present, the cost associated with the transportation of merchandise is more relevant because of globalization. At this cost, the load factors are associated, but also the allocation process to the transport. The problem is to know what is the maximum number of units that can be transported and what is the marginal total cost associated with the placement of an extra unit. The optimization of the number of units to load may not correspond to the more practical result, as this may be associated to a manual loading method, which implies an increase in loading time and an increase in the cost associated with the project.

The methodology involved the creation of a decision support system. This system has the objective of calculating the loading time and the maximum number of units expected for each loading methodology. The loading methodologies are subdivided into mechanics or manuals, and the combination of these also generates hybrid type loads. In this way, it is possible to compare the marginal cost and loading time for the different methodologies and to evaluate the type of loading by the which is the number of units to be transported.

It is concluded that manual methodologies tend to increase the occupation of the transport, but in return they take a longer time, as opposed to mechanical methodologies that tend to reduce the occupation rate of the transport as well as the loading time. The results in hybrid type loads tend to obtain more balanced results in both factors.

Agradecimentos

Agradeço em primeiro lugar à empresa pela oportunidade, em particular à minha orientadora, Engenheira Alexandra Mouta por todo o apoio e conhecimento transmitido, ao Ricardo Nordeste e ao Evaristo Neves por todos os esclarecimentos práticos e por todo o companheirismo, bem como ao Engenheiro Francisco Pires e ao Engenheiro Bruno Machado pela partilha de ideias e de informação útil.

Agradeço ao grupo de estagiários que fizeram parte de projetos na empresa pela partilha de experiências, pela boa disposição e pela partilha de conhecimento.

Agradeço ao meu orientador da FEUP, Professor Pedro João, pela ajuda dada durante a realização deste trabalho, agradeço também à Professora Maria Carravilla pelo suporte para escolha da bibliografia a consultar.

Agradeço aos meus pais, Maria do Céu Rodrigues e José Augusto Queirós Mota, por nunca desistirem de mim, por fazerem de mim o que sou hoje e por todo o apoio psicológico e financeiro que me deram durante os anos de formação académica, por se mostrarem sempre disponíveis para me ajudar em tudo o que se mostrou necessário ao longo destes anos e que resultou na elaboração deste trabalho. Agradeço também ao meu irmão, Ricardo Mota, por todo o carinho e por ter contribuído ativamente para a minha formação.

Agradeço a toda a minha família, por se mostrarem compreensivos pelas minhas ausências para elaboração de trabalhos académicos. Agradeço aos meus padrinhos, Nádia Marques e Rogério Silva, aos meus tios e primos e à minha afilhada, Vitória. Um agradecimento especial para os meus avós, Ilídio Mota e Albina Pinho Queirós, por contribuírem para a minha formação pessoal. Viverão para sempre comigo.

Agradeço também a todos os meus amigos que estiveram presentes no meu percurso pela FEUP, em especial à Maria João Robles por todos os momentos que passamos na Universidade, por toda a amizade e companheirismo. São momentos que nunca vou esquecer. Agradeço ainda à amiga Teresa Reis, por se mostrar disponível para ler a minha dissertação, por todos os momentos que passamos juntas e por todo o apoio dado durante os últimos anos. Agradeço ao meu amigo Carlos Eduardo Queirós, por todo o conhecimento de programação que me transmitiu, por toda a ajuda na elaboração da dissertação e por todos os momentos que tivemos oportunidade de partilhar. Tenho ainda de agradecer ao Diogo Simões e ao Paulo Mendes, amigos de curso, à Patrícia Meneses pelas oportunidades e pela confiança que deposita em mim, à Daniela Alexandra, André Freitas, Marta Oliveira e Pedro Dias, que me acompanham desde os momentos da adolescência e que manterei para o resto da vida, ao Filipe Silva e Daniel Magaña que contribuíram para a minha formação pessoal.

Todos foram determinantes para o meu percurso académico e pessoal, pelo que estarão para sempre marcados na minha memória.

Índice de Conteúdos

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1	Enquadramento do projeto e motivação	1
1.2	O dimensionamento de carga atual na empresa	1
1.3	Objetivos do projeto.....	2
1.4	Método seguido no projeto	3
1.5	Estrutura da dissertação	4
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1	Transporte de carga.....	5
2.1.1	Heurísticas aplicadas ao transporte de carga.....	5
	Definição e categorias de tipos de problemas de carregamento	5
2.1.2	Construção de restrições.....	6
	Restrições relacionadas com o transporte	7
	Restrições relacionadas com o item	7
	Restrições relacionadas com a carga em conjunto.....	7
	Restrições relacionadas com a posição	8
	Restrições relacionadas com o carregamento.....	8
2.1.3	Balanço de carga no transporte em estrada	9
2.2	Análise de tempos	9
2.2.1	Regressão Linear Múltipla	9
	Estimação dos parâmetros de regressão pelo método dos mínimos quadrados.....	10
	Testes de hipóteses	10
	Colinearidade.....	11
	Regressão linear múltipla e correlação.....	11
2.3	Análise de custos	11
3	PROBLEMA ENCONTRADO	13
3.1	O processo atual	13
3.1.1	Definição da embalagem.....	13
3.1.2	Definição do transporte	13
3.1.3	Processo de carregamento.....	14
3.2	Definição de objetivos	14
3.2.1	Redução do custo marginal associado ao transporte	15
	Frete.....	15
	Custo de trabalho	16
	Custo de paralisação.....	16
3.2.2	Outros fatores decisivos.....	17
3.3	Definição do problema global	17
4	METODOLOGIA E SOLUÇÃO PROPOSTA	18
4.1	Definição de tempos de carregamento	18
	Regressão linear múltipla	19

4.2	Construção de algoritmo para alocação de carga	20
4.2.1	Alocação de rolos	20
	Organização de cilindros do tipo I	20
	Organização de cilindros do tipo X	21
	Organização de cilindros do tipo Y	24
4.2.2	Alocação de caixas	26
4.2.3	Alocação de paletes	27
4.3	Tipos de carregamento	28
4.3.1	Carregamento manual	28
	Alocação de cilindros	28
	Alocação de caixas	29
4.3.2	Carregamento mecânico	29
	Carregamento com os garfos do empilhador	29
	Carregamento com o adaptador <i>Load push-pull</i>	29
4.3.3	Carregamento híbrido	30
4.4	Construção de modelo de tomada de decisão	30
4.5.	Cliente A	32
4.5.1.	Alocação da carga à paleta	32
4.5.2.	Alocação da paleta ao contentor	39
4.5.3.	Resultados	39
5	CONCLUSÕES E PERSPETIVAS DE TRABALHOS FUTUROS	40
	REFERÊNCIAS	42
	ANEXO A: TABELA COM TEMPOS DE CARREGAMENTO	43
	ANEXO B: EMBALAGENS UTILIZADAS PELA EMPRESA	45
	ANEXO C: PRODUTOS COMERCIALIZADOS PARA O CLIENTE A	46
	ANEXO D: ANÁLISE DE CUSTO POR UNIDADE PARA CADA TIPOLOGIA DE CARREGAMENTO PARA ROLOS COM ESPESSURA DE 2MM	47
	ANEXO E: ANÁLISE GLOBAL DE CUSTOS PARA ROLOS	52

Siglas

APA – Armazém de Produto Acabado

SAC – Serviço de Apoio ao Cliente

CV1 – Custo variável associado à paralisação

CV2 - Custo variável associado à mão-de-obra

CV3 – Custo variável associado à embalagem

CF – Custo fixo

CT – Custo Total

CVM – Custo variável marginal

CFM – Custo fixo marginal

CTM – Custo total marginal

Índice de Figuras

FIGURA 1 DIAGRAMA DE GANTT DAS ATIVIDADES REALIZADAS DURANTE A REALIZAÇÃO DO PROJETO	4
FIGURA 2 ORGANIZAÇÃO DE CÍRCULOS DE TIPOLOGIA I IN “B. FERREIRA, OTIMIZAÇÃO DO CARREGAMENTO DE CILINDROS EM CONTENTORES, (JOSÉ AND FERREIRA 2014) , 2014”	20
FIGURA 3 ORGANIZAÇÃO DE CÍRCULOS DE TIPOLOGIA X IN “B. FERREIRA, OTIMIZAÇÃO DO CARREGAMENTO DE CILINDROS EM CONTENTORES, (JOSÉ AND FERREIRA 2014) , 2014”	21
FIGURA 4 REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA DEFINIÇÃO DO ÂNGULO ENTRE OS ROLOS DA CAMADA SUPERIOR E INFERIOR	21
FIGURA 5 ALTURA AUXILIAR GANHA CALCULADA PARA O MÉTODO X INFERIOR A 0	22
FIGURA 6 REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA COMPUTAÇÃO DA ALTURA AUXILIAR DEFINIDA PELO MÉTODO X	23
FIGURA 7 DIVISÃO A REALIZAR PARA COMPUTAÇÃO DO NÚMERO DE CAMADAS COMPLETAS PASSÍVEL DE SER ALOCADO PELO MÉTODO X	23
FIGURA 8 CÁLCULO DA ÚLTIMA CAMADA COMPLETA A ALOCAR ATRAVÉS DO MÉTODO X	23
FIGURA 9 DEFINIÇÃO DA ALTURA A PARTIR DA QUAL SE COLOCAM AS CAMADAS INCOMPLETAS DE ROLOS A PARTIR DO MÉTODO X	24
FIGURA 10 REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA ÚLTIMA CAMADA INCOMPLETA DE ROLOS A ALOCAR PELO MÉTODO X	24
FIGURA 11 ORGANIZAÇÃO DE CÍRCULOS DE TIPOLOGIA Y IN “B. FERREIRA, OTIMIZAÇÃO DO CARREGAMENTO DE CILINDROS EM CONTENTORES, (JOSÉ AND FERREIRA 2014), 2014”	25
FIGURA 12 DEFINIÇÃO DOS ESPAÇOS VAZIOS ENTRE OS ROLOS PELO MÉTODO DE ORGANIZAÇÃO Y	25
FIGURA 13 INFORMAÇÕES RESULTANTES DO SISTEMA DE APOIO À DECISÃO CRIADO PELA REALIZAÇÃO DO PROJETO	31
FIGURA 14 QUADRO RESUMO DE METROS PARA ESPESSURAS E ROLOS TRANSPORTADOS PARA O CLIENTE A, COM OS METROS CÚBICOS A TRANSPORTAR, A TAXA DE OCUPAÇÃO E OS CUSTOS MARGINAIS TOTAIS POR TIPOLOGIA DE TRANSPORTE	34
FIGURA 15 TEMPOS DE CARREGAMENTO PARA CADA UMA DAS ESPESSURAS E POR TIPOLOGIA DE CARREGAMENTO	35
FIGURA 16 RESULTADO DO SISTEMA DE APOIO À DECISÃO UTILIZADO PARA ALOCAR CAIXAS TRANSPORTADAS PARA O CLIENTE A	38

Índice de Tabelas

TABELA 1 TIPOS DE TRANSPORTE E RESPETIVAS DIMENSÕES EM MILÍMETROS	15
TABELA 2 TEMPOS DE CARREGAMENTO (Y) EM MINUTOS, DE ACORDO COM O NÚMERO DE UNIDADES CARREGADAS DE FORMA MANUAL (X1) E O NÚMERO DE PALETES CARREGADAS (X2)	43
TABELA 3 TABELA ANOVA RESULTANTE DA ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA RECORRENDO AO SUPLEMENTO DE <i>ANALYSIS TOOLPACK</i> DO <i>EXCEL</i>	44
TABELA 4 TIPOS DE PALETE UTILIZADO PELA EMPRESA E RESPETIVAS DIMENSÕES EM MILÍMETROS	45
TABELA 5 TABELA RESUMO DAS CONDIÇÕES DE TRANSPORTE DOS ROLOS PARA O CLIENTE A. PARA TODAS AS REFERÊNCIAS O MÉTODO UTILIZADO É O TRANSPORTE COM RECURSO AO EMPILHADOR.	46
TABELA 6 CUSTOS PARA CARREGAMENTO MANUAL PARA REFERÊNCIAS COM 2MM DE ESPESSURA	47
TABELA 7 CUSTOS PARA CARREGAMENTO MECÂNICO RECORRENDO AOS GARFOS DO EMPILHADOR PARA REFERÊNCIAS COM 2MM DE ESPESSURA	48
TABELA 8 CUSTOS PARA CARREGAMENTO MECÂNICO RECORRENDO AO ADAPTADOR LOAD PUSH-PULL PARA REFERÊNCIAS COM 2MM DE ESPESSURA	49
TABELA 9 CUSTOS PARA CARREGAMENTO HÍBRIDO, PARCIALMENTE CARREGADO RECORRENDO AOS GARFOS DO EMPILHADOR E PARCIALMENTE MANUAL, PARA REFERÊNCIAS COM 2MM DE ESPESSURA.....	50
TABELA 10 CUSTOS PARA CARREGAMENTO HÍBRIDO, PARCIALMENTE CARREGADO RECORRENDO AO ADAPTADOR LOAD PUSH-PULL E PARCIALMENTE MANUAL, PARA REFERÊNCIAS COM 2MM DE ESPESSURA	51

1. Introdução

1.1 Enquadramento do projeto e motivação

O projeto foi realizado numa empresa cuja principal atividade é a produção de aplicações que incorporem cortiça. Estas aplicações têm como finalidade indústrias como a construção e os transportes, por exemplo. O projeto decorreu no departamento de Logística da empresa, mais especificamente, no armazém de produto acabado (APA) e teve como objetivo reduzir os custos associados ao transporte de carga em contentor. Os produtos da empresa são maioritariamente exportados e uma grande maioria transportada por via marítima, logo os custos marginais associados ao transporte têm um peso significativo nos custos totais do produto. Daí surgiu a necessidade de avaliar que fatores influenciam os custos associados ao transporte e de que forma é possível reduzi-los. O tema surge como dimensionamento de carga em contentor com uma perspetiva de custos sendo que não se trata apenas de uma otimização de carga, mas também de uma ponderação dos diversos fatores que têm impacto no custo de transporte, sendo que o objetivo principal é a minimização de custos.

1.2 O dimensionamento de carga atual na empresa

O departamento de Logística da empresa subdivide-se em quatro departamentos:

- Serviço de apoio ao cliente (SAC): este departamento tem como função, tal como o nome indica, receber os pedidos de encomenda dos clientes, comunicá-los ao departamento do planeamento e indicar ao cliente quando a mercadoria estará disponível. De seguida, os funcionários deste departamento procuram perceber de que forma é possível alocar a mercadoria a um transporte para que toda seja enviada para o cliente numa só data. Este transporte pode ser realizado por vários meios (marítimo, terrestre e, em pequenas quantidades, aéreo), dependendo da localização geográfica para a qual se pretende enviar a carga. Após decidir qual o meio de transporte que aporta um melhor resultado, o departamento realiza a alocação de carga somando os metros cúbicos ocupados pela mercadoria e comparando com os metros cúbicos disponíveis no transporte, sendo que a forma da mercadoria a alocar não é considerada. Após definir a carga (a quantidade?) e o transporte, a informação é comunicada ao APA de modo a que a carga seja preparada numa zona de separação definida no armazém com pelo menos um dia de antecedência.
- Planeamento: este departamento tem como função planear, de acordo com a informação recebida do SAC, a produção semanal, de modo a honrar as datas comunicadas ao cliente. Este departamento tem obrigação de comunicar atrasos de produção ao APA e ao SAC.

- Armazém de matérias-primas não cortiça: este armazém recebe as matérias primas que não sejam cortiça, como por exemplo, embalagens e etiquetas. Tem como função garantir e abastecer os restantes departamentos.
- Armazém de produto acabado (APA): o armazém de produto acabado, local onde foi realizado o projeto, recebe a indicação das unidades a carregar e em que transporte devem ser alocadas. Tem como função recolher o produto acabado das áreas produtivas, efetuar a separação na zona definida para o efeito (no dia anterior), efetuar a carga e dar o *feedback* caso esta não seja possível alocar na sua totalidade.

É possível verificar que a alocação da carga ao contentor não é realizada tendo em conta a geometria da mesma, sendo que desta forma podem ser alocadas quantidades de material que não são passíveis de carregar no transporte planeado. Sendo que só é possível realizar esta verificação aquando do carregamento, e que a ordem com que se realiza a carga depende apenas do conhecimento do operador, mesmo quando o carregamento se encontra devidamente planeado, ou seja, é possível cumprir com o requerido, uma falha no processo de carga pela troca da ordem com que esta deveria ser efetuada pode também conduzir a que esta não seja alocada na sua totalidade.

O método de carregamento também é programado pelo SAC, sendo que a decisão de ser realizado pelo método manual ou via mecânica se baseia na experiência e em dados históricos. O método manual implica a alocação manual da carga ao contentor enquanto a via mecânica pressupõe o uso dos grafos do empilhador. O tempo de carregamento que advém do método selecionado é calculado tendo em conta a experiência do planeador, que se encontra no SAC, pelo que nem sempre corresponde à realidade.

Os maiores problemas encontrados foram:

- Alocar a carga ao transporte sem ter em consideração a sua forma geométrica, nem a combinação das formas geométricas a transportar;
- Escolher o método de carregamento apenas com base na experiência do funcionário que planeia a carga, sem que seja considerado se este método gera mais ou menos perdas relativamente a outros métodos;
- Calcular o tempo para cada carregamento com base na experiência de quem planeia a carga, sendo que este muitas vezes não corresponde à realidade;
- Não considerar custos que possam advir de tempos de carregamento elevados;
- Não considerar consequências futuras para a saúde dos colaboradores devido ao recurso a força em carregamentos manuais.

Foi possível observar que o meio marítimo é muito utilizado pela empresa, pelo que este foi selecionado como meio de transporte de estudo.

1.3 Objetivos do projeto

O objetivo definido para o trabalho foi:

- Otimizar a carga em armazém: melhor carga de metro cúbico por contentor e tempos de carga por tipologia;
- Criar *standards* de carregamento;

O plano de trabalhos definido para atingir os objetivos foi:

- Criação de ferramenta de cálculo de tempo de carga por tipologia;
- Criação de ferramenta de alocação de carga ao contentor por tipologia;
- Criação de sistema de apoio à decisão que pondera os vários fatores e retorna os custos associados à carga para cada metodologia;
- Criação de *standards* de carregamento com base nos resultados obtidos anteriormente;

1.4 Método seguido no projeto

O projeto foi estruturado como pode ser consultado no diagrama da Figura 1, sendo que se dividiu nas seguintes etapas:

- Compreensão de processos associados à carga em contentor: compreensão da totalidade dos processos que envolvem a alocação da carga ao contentor, passando pela escolha de embalagem, escolha de tipologia de carregamento e número de unidades a carregar. Em simultâneo, a empresa realiza um acolhimento nas diversas áreas para que seja possível compreender a totalidade dos processos. Realizado entre as semanas 1 e 2.
- Compreensão de tipologias de carga: observação de carregamentos de diferentes tipologias de modo a perceber de que forma estes carregamentos são realizados e de que forma os operadores decidem a alocação de carga ao transporte. Em simultâneo, foram observadas que tipo de mercadorias podem ser alocadas. Realizado entre as semanas 1 e 2.
- Seleção de cliente alvo: dada a quantidade elevada de clientes e de mercadorias, bem como restrições impostas pelos mesmos, em conjunto com a empresa, foi selecionado um cliente que iria corresponder ao projeto piloto de otimização de carga. Este foi selecionado por corresponder a uma elevada percentagem de vendas e por possuir flexibilidade para alterações ao nível de embalagem e método de carregamento. Realizado durante a semana 3.
- Compreensão de carga a estudar: de modo a perceber que tipo de problema estaria a ser estudado, foi realizado um estudo quanto à carga encomendada por este cliente, qual é a tipologia de carga e de que forma a mesma é embalada. Realizado entre a semana 3 e 4.
- Revisão bibliográfica: após perceber qual o tipo de carga a ser tratada, foi realizada uma revisão bibliográfica de modo a perceber qual o tipo de problema encontrado. Em simultâneo, foi realizada também uma revisão bibliográfica para análise de tempos e de custos, uma vez que o objetivo do trabalho é a redução de custo tendo também em consideração o tempo de carregamento. A revisão bibliográfica realizou-se entre as semanas 4 e 8.
- Recolha de dados de tempos de carregamento por tipologia: de modo a encontrar o tempo médio de carregamento por tipologia (manual ou mecânica) e por unidades a carregar, foi realizada uma recolha de dados de carregamento por parte dos colaboradores. Este processo passou a estar presente na empresa. Dados referentes a semanas 5 e 6.
- Análise de tempos de carga recolhidos: os dados recolhidos foram analisados com o objetivo de encontrar uma reta que indique, dado o número de unidades a carregar por tipologia, qual o tempo previsto para carregamento. Realizado entre a semana 7 e 9.
- Criação de algoritmo de alocação de carga: através da revisão bibliográfica recolhida, iniciou-se o processo de criação de um algoritmo de alocação de carga ao transporte. Realizado entre a semana 7 e 11.
- Estudo de métodos de alocação de carga: de modo a aplicar o algoritmo criado, foram definidas tipologias de carga, sendo utilizadas tipologias já existentes na empresa e propostas novas. Realizado entre a semana 10 e 11.
- Construção de modelo de apoio à decisão: de modo a computadorizar o algoritmo definido anteriormente por tipologia, foi criado um sistema de apoio à decisão recorrendo a uma macro do Excel que permite o cálculo do número de unidades a carregar por tipologia, o tempo associado a esses carregamentos e o custo associado por metro cúbico. Realizado entre as semanas 12 e 15.
- Recolha de resultados: para o cliente definido anteriormente, foram recolhidos resultados quanto a melhorias pelo uso do sistema de apoio à decisão. Realizado entre as semanas 15 e 17.
- Normalização do processo: criação de normas relativas ao carregamento para o cliente analisado. Realizado entre as semanas 16 e 17.

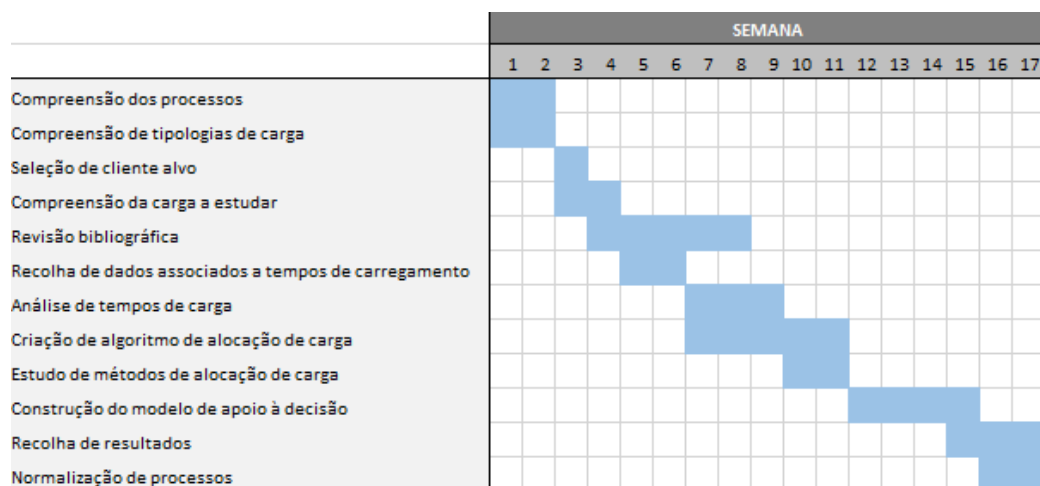


Figura 1 Diagrama de Gantt das atividades realizadas durante a realização do projeto

1.5 Estrutura da dissertação

Inicialmente, foi realizada uma revisão bibliográfica dos temas abordados ao longo da tese, sendo que estes se dividem em três grupos: uma análise de alocação de carga a contentor, uma análise de tempos de carga e uma análise de custos marginais associados à carga.

Após a realização deste estudo, as metodologias revistas nestes campos foram utilizadas na elaboração de uma reta que relaciona o tempo de carregamento por tipologia. Com este estudo foi possível chegar a um valor de tempo de carga por tipologia e por número de unidades a carregar. As tipologias utilizadas foram o carregamento manual, o carregamento mecânico e a combinação de ambos.

Com o objetivo de encontrar o valor máximo de unidades passível de ser alocado em cada uma das tipologias, foi construído um modelo de alocação de carga ao contentor. Este modelo contempla a alocação de paralelepípedos (caixas) e cilindros (rolos).

O algoritmo criado anteriormente foi utilizado na alocação de carga por tipologia, sendo que as tipologias a validar foram: o carregamento mecânico, através dos garfos do empilhador já utilizados e de um novo adaptador para empilhador, denominado *Load push-pull*; o carregamento manual, ou seja, a alocação manual das unidades ao transporte; o carregamento híbrido, pressupõe o uso dos dois anteriores.

Finalmente, pela combinação do número de unidades passível de ser carregada e o tempo necessário para realizar esta carga, foi realizado um custo económico com o objetivo de atingir um resultado ótimo. Durante este estudo, foram calculados os custos para cada um dos métodos e para cada uma das geometrias a carregar, sendo que os resultados apresentados visam a redução destes custos. O resultado final corresponde à *standardização* da totalidade dos carregamentos realizados para este cliente tendo como objetivo a redução dos custos associados ao carregamento.

Na última secção, são abordados alguns trabalhos que ainda poderão ser realizados neste âmbito, sendo que o principal pressupõe a extensão do estudo para outros clientes análogos na empresa.

2 Revisão bibliográfica

2.1 Transporte de carga

No que respeita a problemas no carregamento das unidades nos respetivos transportes, o artigo (Zhao et al. 2016) refere problemas 1D e 2D, sendo que a sua generalização resulta em problemas 3D. As regras básicas para carregamento de contentores, referidas na grande maioria dos artigos, são:

- Todos os itens devem estar contidos dentro do interior do contentor;
- Os itens não podem ser sobrepostos;
- As caixas devem ser colocadas com as arestas paralelas ao contentor;

Alguns autores consideram que os itens podem rodar em todas as direções, sendo que esta generalização é aceite pela grande maioria como é referido no capítulo do livro (Alvarez-Valdes, Carravilla, and Oliveira 2018).

À exceção deste livro, a grande maioria da literatura aproxima os itens a uma forma cúbica (referidos como caixas), sendo que os tipos de problemas referidos nas próximas secções têm em consideração esta aproximação.

2.1.1 Heurísticas aplicadas ao transporte de carga

Definição e categorias de tipos de problemas de carregamento

O carregamento de embalagens em contentores pode ser encarado com dois objetivos distintos segundo os artigos (Bortfeldt and Wäscher 2013) e (Zhao et al. 2016): um problema de minimização de *inputs*, ou seja, no qual são minimizados o número de contentores necessários para o transporte de um dado número de unidades fixo; problemas de maximização de *outputs*, ou seja, maximizar o número de unidades carregadas que promove a maximização de um critério num número fixo de contentores. Os problemas de minimização de *inputs* são subdivididos em 6 tipos de problemas dadas as dimensões das unidades a carregar, como é referido no documento (Zhao et al. 2016).

- *Single stock-size cutting stock problems (SSSCSP)* – caso os contentores sejam idênticos e as caixas são pouco heterogéneas;
- *Single bin-size bin packing problem (SBSBPP)* – caso os contentores sejam idênticos e as caixas muito heterogéneas;
- *Multiple stock-size cutting stock problem (MSSCSP)* – caso os contentores e as caixas sejam ambos pouco heterogéneos;
- *Multiple bin-size bin packing problem (MBSBPP)* – caso os contentores sejam pouco heterogéneos e as caixas muito heterogéneas;
- *Residual cutting stock problem (RCSP)* – caso os contentores sejam muito heterogéneos e as caixas pouco heterogéneas;
- *Residual bin packing problem (RBPP)* – caso os contentores e as caixas sejam altamente heterogéneos;

No artigo (Bortfeldt and Wäscher 2013) é ainda referida uma outra subdivisão no âmbito dos problemas de minimização de *inputs*, o *Open Dimension Problem (ODP)* – casos em que o

conjunto de caixas é carregado num contentor único, sendo que este último possui uma ou mais dimensões que podem variar tendo como objetivo minimizar o volume do contentor;

Os problemas de maximização de *outputs* são subdivididos em 7 tipos segundo (Zhao et al. 2016):

- *Identical item packing problem (IIPP)* – caso exista um único contentor e as caixas sejam idênticas;
- *Single large object placement problem (SLOPP)* – caso exista um único contentor e caixas pouco heterogéneas;
- *Single knapsack problem (SKP)* – caso exista um único contentor e caixas altamente diferenciadas;
- *Multiple identical large object placement problem (MILOPP)* – caso existam vários contentores idênticos e caixas pouco heterogéneas;
- *Multiple heterogeneous large object placement problem (MHLOPP)* – caso os contentores existentes sejam muito ou pouco heterogéneos e as caixas pouco heterogéneas;
- *Multiple identical knapsack problem (MIKP)* – caso existam múltiplos contentores idênticos e as caixas sejam altamente heterogéneas;
- *Multiple heterogeneous knapsack problem (MHKP)* – caso os contentores sejam muito ou pouco heterogéneos e as caixas sejam altamente heterogéneas;

O critério de maximização de *outputs* está relacionado com o valor das unidades a ser transportadas; para o caso de o valor das unidades estar diretamente correlacionado com o seu volume, uma maior taxa de ocupação volumétrica corresponde ao critério de maximização (Bortfeldt and Wäscher 2013).

Os problemas de carregamento em contentores são considerados *NP-hard*, ou seja, dada a complexidade dos algoritmos determinísticos existentes, torna-se necessária a criação de heurísticas que relaxem o modelo, tornando-o exequível, abdicando assim de soluções ótimas a nível determinístico.

2.1.2 Construção de restrições

No que respeita à construção de restrições, este tema é abordado com alguma relevância no artigo (Bortfeldt and Wäscher 2013), que subdivide os tipos de restrições em 5 categorias distintas: Restrições relacionadas com o contentor, o item, a carga em conjuntos, a posição e o carregamento, explicado em mais detalhe nas próximas secções. No artigo (Ramos, Silva, and Oliveira 2018), relacionado com o balanceamento da carga no contentor, a subdivisão das restrições é feita em 2 tipos: as restrições de segurança e de logística. Esta subdivisão existe para que as mesmas sejam agrupadas quando são dependentes entre si. Restrições de segurança estão relacionadas com a integridade da carga e da unidade de transporte utilizada, bem como com a segurança dos operadores integrados no processo de carregamento, descarregamento e transporte da carga. Restrições logísticas são todas as outras características que não estão diretamente relacionadas com as propriedades físicas da mercadoria transportada.

Restrições relacionadas com o transporte

Nesta secção são abordadas as restrições relacionadas com o contentor segundo (Bortfeldt and Wäscher 2013). Estas subdividem-se em:

- Limite de peso passível de ser transportado pelo contentor;
- Distribuição do peso no contentor;

Estas questões são abordadas em aproximadamente 14% da literatura até ao ano de 2013, tendo em consideração os dados fornecidos no artigo referido anteriormente. Estas 2 restrições entram na categoria de restrições de segurança do artigo (Ramos, Silva, and Oliveira 2018), uma vez que a sua consideração contribui para integridade da carga e a segurança de todos os envolventes no transporte e manuseamento da mesma.

Restrições relacionadas com o item

Nesta secção são abordadas as restrições relacionadas com o item segundo (Bortfeldt and Wäscher 2013). Estas subdividem-se em:

- Prioridades de carga;
- Restrições de orientação;
- Restrições na sobreposição de cargas;

Relativamente às prioridades de carga, esta questão é abordada no artigo (Ramos, Silva, and Oliveira 2018) como uma restrição logística, uma vez que não depende da forma física do que será carregado. Ou seja, devido ao aumento do valor percebido transportado, poderá ser mais desejado transportar uma carga em detrimento de outra, sendo que estes casos só se aplicam em questões de maximização de *output*, ou seja, quando a carga não poderá ser transportada na totalidade. Esta questão não é muito abordada na formulação de algoritmos.

Após a formulação de uma das regras base já abordadas neste capítulo, uma caixa possui 6 orientações possíveis. Em muitos casos, este número de orientações poderá ser reduzido por questões práticas como, por exemplo, a necessidade de manter um dos lados para cima. Este tipo de restrições está presente na grande maioria dos artigos (70,6%), segundo dados recolhidos no artigo (Bortfeldt and Wäscher 2013). Esta restrição no artigo (Ramos, Silva, and Oliveira 2018) considera-se uma restrição de segurança, uma vez que está relacionada com os aspetos físicos da carga.

A restrição que diz respeito à sobreposição de cargas não é abordada em parte dos artigos (15,3%), segundo o artigo (Bortfeldt and Wäscher 2013), e é também considerada uma medida de segurança uma vez que é considerada na prevenção da danificação da carga que se encontra a ser carregada. No algoritmo presente no artigo (Fuellerer et al. 2010) são utilizadas restrições deste tipo, através do rótulo da mercadoria como frágil ou não-frágil, realizando posteriormente a devida alocação da mercadoria aos espaços a empacotar. No artigo (Bischoff and Ratcliff 1995) é referido que o peso da carga é suportado maioritariamente pelos lados da caixa, pelo que uma caixa que suporte outra apenas com a sua face superior poderá facilmente ceder caso não seja considerado o peso que esta pode suportar.

Restrições relacionadas com a carga em conjunto

Nesta secção são abordadas as restrições relacionadas com a carga em conjuntos (2). Estas subdividem-se em:

- Restrições de carga completa de um subconjunto de unidades;
- Restrições de carga completa de um subconjunto de unidades no mesmo transporte;

No caso de restrições de carga completa de um conjunto de unidades, trata-se de um problema de maximização de output, uma vez que existe apenas um contentor no qual um subconjunto da carga terá de ser transportado. Caso não seja possível transportar uma das unidades do subconjunto, nenhuma que faça parte do subconjunto será carregada. Para restrições de carga completa no mesmo transporte, trata-se de um problema de minimização de input que impõe que, caso uma unidade de um subconjunto seja transportada num contentor, todas as que façam parte desse subconjunto estejam também contidas neste. Esta última é abordada no algoritmo do artigo (Fuellerer et al. 2010), referida como *Complete Shipment*. Estes problemas são apenas considerados em (0,6%) e (8,0%) dos artigos respetivamente, tendo em conta o artigo (Bortfeldt and Wäscher 2013). Estas restrições são consideradas restrições logísticas no artigo (Ramos, Silva, and Oliveira 2018), uma vez que não estão relacionadas com aspetos físicos da carga.

Restrições relacionadas com a posição

Nesta secção são abordadas as restrições relacionadas com a posição (Bortfeldt and Wäscher 2013). No que diz respeito à posição da carga no contentor, esta poderá encontrar-se referida em termos absolutos, ou seja, relativamente à totalidade do contentor onde será inserida, ou em termos relativos, ou seja, onde deverão ou não ser alocados os artigos tendo em consideração os outros itens. Uma combinação de ambos os fatores, posições relativas e absolutas, no artigo (Bischoff and Ratcliff 1995), é referido como o *Multi-drop situations* (situações de múltiplas paragens), em que o transporte da mercadoria irá parar várias vezes, em clientes diferentes antes de atingir o destino final. Neste caso, é necessário ter em consideração a posição relativa, sendo que os itens que se destinam a um cliente deverão ir próximos entre si, e a posição absoluta, uma vez que as cargas que sairão primeiro deverão estar mais próximas da porta. Estes casos são abordados em (12,3%) dos artigos, segundo dados do artigo (Bortfeldt and Wäscher 2013). Estas restrições são consideradas restrições logísticas no artigo (Ramos, Silva, and Oliveira 2018), uma vez que não estão relacionadas com aspetos físicos da carga.

Restrições relacionadas com o carregamento

Nesta secção, são abordadas as restrições relacionadas com o carregamento (Bortfeldt and Wäscher 2013). Estão relacionadas com as propriedades desejadas ou necessárias do arranjo final do carregamento e subdividem-se em:

- Restrições de estabilidade;
- Restrições de complexidade;

No que diz respeito a restrições de estabilidade, é praticamente unânime que apresentam uma elevada relevância para que não seja colocada em causa a integridade da carga e para que o processo de descarga possa ser realizado em segurança. Em alguns casos, os autores alegam que um algoritmo que crie uma organização compacta, está automaticamente a permitir um carregamento estável (Bortfeldt and Wäscher 2013). No que diz respeito à estabilidade do objeto no contentor, é possível considerar dois tipos: estabilidade vertical que não permite que o objeto se mova na vertical e a estabilidade horizontal que não permite que o objeto se mova lateralmente.

No artigo (Bischoff and Ratcliff 1995) uma regra simples para que seja garantida a estabilidade vertical define que a base de um objeto deverá ser suportada totalmente pela base de outro objeto, pela base do contentor ou ainda pela base dada por dois outros objetos com a mesma altura.

Relativamente à estabilidade horizontal, esta poderá ser garantida caso os lados do item estejam em contacto com outro item ou com uma parede do contentor. Restrições de estabilidade são consideradas em (31,4%) dos artigos, segundo o artigo (Bortfeldt and Wäscher 2013). É uma questão de elevada relevância que tem por base o contacto entre os objetos e entre os objetos e

o contentor, sendo que existem várias abordagens que relaxam mais ou menos esta restrição, tendo em consideração a percentagem de contacto que definem para cada face do objeto.

Restrições ao nível da complexidade, são restrições que têm como objetivo diminuir o tempo de carregamento e complexidade na perceção de como o contentor deverá ser carregado. Neste caso, é unânime que o *guillotine pattern* (padrão em guilhotina) tem uma perceção relativamente simples segundo (Bortfeldt and Wäscher 2013). Neste artigo, refere ainda que este tipo de carregamento poderá ter uma influência negativa na estabilidade global, pelo que poderá não ser a melhor aproximação.

2.1.3 Balanço de carga no transporte em estrada

Segundo o artigo (Ramos, Silva, and Oliveira 2018), referido anteriormente, utiliza uma metodologia de divisão de restrições em restrições de segurança e de logística. Este artigo enfatiza a necessidade de balancear o transporte da carga no transporte via terrestre, de modo a que este seja realizado em condições de segurança. Neste artigo, é referido que a distribuição do peso do veículo carregado é altamente influenciada pelo centro de gravidade da carga. Ainda segundo (Ramos, Silva, and Oliveira 2018), cada veículo possui um diagrama específico que mostra o peso de carga admissível como função do centro de gravidade da carga, de modo a cumprir os requisitos técnicos e regulamentares. Neste artigo, é referida uma ferramenta utilizada para avaliar a permissão máxima em termos de peso da carga em camiões, dado pelo *Load distribution Diagram* (LDD).

2.2 Análise de tempos

Segundo o artigo (Gonzalez and Catania 2019) sobre a comparação entre redes neuronais, séries temporais e regressão na previsão de custos, toma este último como sendo de fácil implementação relativamente aos outros, apresentando também bons resultados para pequenos conjuntos de dados. Este estudo conclui também que dos três métodos, foi o que apresentou uma menor exatidão para os dados estudados, sendo também que apresenta como uma desvantagem do método a necessidade de identificação de todas as variáveis independentes que podem interferir no modelo.

2.2.1 Regressão Linear Múltipla

O livro (Campos Guimarães and Sarsfield Cabral 1997), *Estatística* aborda o tema da Regressão linear múltipla. Este método tem como objetivo a criação de uma função que descreve a relação entre um conjunto de variáveis quantitativas independentes e uma variável quantitativa dependente, segundo (Campos Guimarães and Sarsfield Cabral 1997), através da função (2.1):

$$Y_n = \alpha + \beta_1 * (X_{1n} - \bar{X}_1) + \dots + \beta_j * (X_{jn} - \bar{X}_j) + E_n \quad (2.1)$$

Onde,

n é o índice denotado de observações,

X_{1n} é a n -ésima observação das variável X ,

Y_n é a n -ésima observação da variável Y ,

$\bar{X}_1$ é a média aritmética das observações da variável $\bar{X}_j$,

α e β são parâmetros fixos (desconhecidos, a estimar) da relação linear entre X_1 , X_j e Y

E_n é o erro aleatório associado ao valor observado Y_n .

Neste livro são ainda mencionados os pressupostos a assumir para a criação de uma regressão linear múltipla sendo eles que os valores de X_{1n} e os valores X_j de são encarados como

constantes predeterminadas e que os erros associados à regressão, E_n , têm valor esperado nulo, variância constante e são normalmente distribuídos.

Estimação dos parâmetros de regressão pelo método dos mínimos quadrados

Ainda segundo (Campos Guimarães and Sarsfield Cabral 1997), os parâmetros α e β podem ser estimados recorrendo ao método dos mínimos quadrados. O mínimo da função (2.2):

$$SEQ = \sum_n E_n^2 = \sum_n \{Y_n - [\alpha + \beta_1 * (X_{1n} - \bar{X}_1) + \dots + \beta_j * (X_{jn} - \bar{X}_j)]\}^2 \quad (2.2)$$

Sendo que,

$$\frac{\partial SEQ}{\partial \alpha} = (-2) * \sum_n \{Y_n - [\alpha + \beta_1 * (X_{1n} - \bar{X}_1) + \dots + \beta_j * (X_{jn} - \bar{X}_j)]\} = 0 \quad (2.3)$$

$$\frac{\partial SEQ}{\partial \beta_1} = (-2) * \sum_n \{(X_{1n} - \bar{X}_1) * Y_n - [\alpha + \beta_1 * (X_{1n} - \bar{X}_1) + \dots + \beta_j * (X_{jn} - \bar{X}_j)]\} = 0 \quad (2.4)$$

De modo a obter os estimadores de α e β . Se a relação entre as variáveis X_j e μ_Y é linear, e os erros são independentes, com valor esperado nulo e variância constante, segundo o autor então é possível demonstrar-se que:

- Os estimadores são não-enviesados, eficientes e consistentes;
- O estimador A não possui correlação com os estimadores B, sendo que entre estes estimadores existe uma correlação, ou seja, o erro incorrido num deles têm uma influência nos restantes;
- O estimador do quadrado da variância é não-enviesado.

Testes de hipóteses

Segundo o autor referido neste capítulo, os testes de hipóteses relativos aos parâmetros a estimar podem ser realizados através de intervalos de confiança. Estes intervalos de confiança, segundo o autor, são estabelecidos tendo por base que os erros estão normalmente distribuídos. Para o parâmetro α , o teste de hipóteses passa por testar se a ordenada na origem é nula. Para este parâmetro testa-se se a ordenada na origem é nula, ou seja, se o parâmetro α é nulo.

Para o caso dos testes de hipóteses aplicados a β_j ($j = 1, \dots, J$) começa-se por testar a hipótese de que todos estes parâmetros são nulos contra a hipótese de que pelo menos um dos parâmetros é diferente de zero. Para realizar este teste recorre-se à técnica de análise de variância, decompõe-se a variação total, referida pelo autor como a observação das observações Y_n em torno da média $\bar{Y}$, nas componentes de:

- variação devida à regressão, para os quais contribuem os desvios entre os pontos que, na reta estimada, correspondem a X_n e a média $\bar{Y}$;
- variação residual, sendo esta a variação inexplicada que corresponde aos desvios entre os parâmetros estimados Y_n e os pontos que na reta estimada lhe correspondem.

A hipótese nula para ambos os casos, denominada de H_0 , será rejeitada para um nível de significância de 5% caso o valor de prova seja inferior a este nível. No caso de a hipótese nula ser rejeitada para o parâmetro β e, ainda segundo o autor, significa que pelo menos um dos parâmetros β é diferente de zero. Para determinar qual dos parâmetros não é zero, recorre-se a uma análise individual destes.

Colinearidade

Segundo o livro de (Campos Guimarães and Sarsfield Cabral 1997), o termo Colinearidade refere a existência de uma elevada correlação entre dois ou mais regressores. Para dois regressores com uma elevada correlação, ainda segundo o autor a proporção da variação total explicada por ambas variáveis é semelhante no modelo e a inclusão de uma das variáveis, tendo em conta que a outra já se encontra incluída no modelo, não acarreta uma explicação adicional significativa.

Regressão linear múltipla e correlação

Segundo o livro de (Campos Guimarães and Sarsfield Cabral 1997), a principal diferença entre análise de regressão e correlação é que, enquanto na primeira se admite que os valores X_{jn} são constantes predeterminadas, enquanto que na segunda considera-se que estes valores são observações aleatórias. O coeficiente amostral de correlação pode ser definido de duas formas equivalentes, sendo:

- Coeficiente amostral de correlação simples entre os valores observados da variável Y e os correspondentes valores estimados $R_{Y\hat{Y}}$;
- Raiz quadrada do coeficiente de determinação múltipla que por sua vez é dado por R^2 , dado por

$$R^2 = \frac{VDR}{VT} \quad (2.5)$$

Onde,

VDR é a variação devido à regressão,

VT é a variação total.

Numa ou noutra interpretação, segundo o autor, o coeficiente amostral de correlação múltipla mede o grau de relacionamento linear entre a variável Y com o conjunto das variáveis X .

2.3 Análise de custos

No capítulo 10 presente no livro de (Frank 2006), é apresentada uma abordagem de análise de custos. Para a análise de custos no curto prazo o autor apresenta o custo total como a soma de duas parcelas de custos, os custos fixos e os custos variáveis. Os custos fixos são os custos que não variam com a quantidade produzida no curto prazo, sendo que os custos variáveis são aqueles que variam com a quantidade produzida. Os exemplos que são dados como custos fixos e variáveis por este autor tratam-se do custo do capital e do trabalho, respetivamente.

A representação gráfica para os custos fixos, segundo o autor, sendo que estes vêm em euros por unidade, é uma linha horizontal, uma vez que não existem variações nos custos com o número de unidades produzidas. No caso dos custos variáveis, é expectável que a curva de custo se relacione com a curva de produção. As unidades a produzir têm um custo variável associado, ou seja, para obter um dado número de unidades necessito de um número de pessoas que têm um salário por horas de trabalho.

É possível concluir que o custo de não produzir corresponde ao custo fixo e que a curva de custo total difere da curva de custos variáveis pelo custo fixo. O autor refere ainda outros custos de curto prazo. O custo fixo médio, ou seja, o custo fixo a dividir pelas unidades produzidas. Uma vez que este custo é constante para o número de unidades, o custo fixo médio será menor com o aumento de número de unidades a produzir. O custo variável médio, ou seja, o custo

variável a dividir pelo número de unidades a produzir. O custo marginal, é a variação no custo total pela produção de uma unidade adicional de produto.

Ainda segundo este autor, a curva de custo marginal é a mais importante nas decisões da empresa quanto ao número de unidades a produzir. Este, pode ser interpretado com o declive da curva de custo total para uma dada quantidade de produto. É possível desta forma definir um ponto para o qual o declive da curva do custo marginal é decrescente até o atingir e crescente a partir deste. Trata-se do ponto a partir do qual se iniciam os rendimentos decrescentes, segundo o autor, que justificam o facto de a curva ser crescente a partir daqui.

3 Problema encontrado

Este projeto surgiu pela necessidade de redução dos custos associados ao transporte de carga. Uma vez que a carga transportada depende também das necessidades do cliente, este projeto teve como foco os clientes que representam um grande volume de vendas para a empresa e que possuem flexibilidade quanto às quantidades encomendadas. Os custos associados ao transporte são calculados tendo por base os custos pagos ao transportador para levar a mercadoria do ponto A para o ponto B, os custos associados ao trabalho e o custo de paralisação, resultado de um tempo de espera elevado por parte do transportador nas instalações da empresa.

3.1 O processo atual

O processo inicia-se com a colocação de uma encomenda por parte de um cliente. A colocação da nova encomenda é realizada junto do SAC e, caso se trate de um novo produto, o SAC envia os requisitos físicos e de embalagem para o departamento de Engenharia. Este departamento realiza a criação de uma codificação das características físicas e de embalagem do produto requerido. A empresa fabrica dois tipos de produtos, sendo estes rolos ou placas. Os rolos, uma vez enrolados, possuem uma forma cilíndrica e foram identificadas 8.301 referências deste tipo. No que diz respeito a placas, existem 17.255 referências distintas. Os rolos podiam ser transportados em caixas, avulso ou filmados na paleta. As placas eram palatizadas ou em caixa, nunca transportadas avulso.

3.1.1 Definição da embalagem

O departamento de Engenharia avalia as várias opções de embalagem para o produto requisitado. Os critérios para esta definição são as capacidades de embalagem da produção, as embalagens existentes e a forma como o material deve ser carregado. Para casos em que ocorrem alterações no transporte utilizado para o cliente, o processo de revalidação do código não é realizado gerando ineficiências ao nível do carregamento, uma vez que a embalagem não se enquadra com o novo transporte utilizado. Para estes casos, o tipo de embalagem que tem uma interferência direta com a capacidade de carregamento é o tipo de paleta utilizado. O produto que se encontra no APA já se encontra devidamente embalado de acordo com estas definições pré-estabelecidas, sendo que a sua alocação ao transporte está limitada por este fator.

Noutros casos, esta definição é realizada diretamente no cliente, por necessidades do seu processo produtivo ou de acondicionamento no armazém. O projeto desconsiderou estes casos do ponto de vista de melhoria de embalagem para carregamento mais eficiente, uma vez que não existiria margem para alterações.

3.1.2 Definição do transporte

Após a definição da embalagem, o cliente define a quantidade a encomendar e o SAC pondera de que forma será possível satisfazer as necessidades do cliente. A alocação da quantidade máxima ao transporte realiza-se somando os metros cúbicos ocupados pelos itens e respetivas embalagens, como são o caso das paletes, até que este valor atinja o maior valor inferior à cubagem ou ao peso máximo limite estabelecido para aquele transporte ou destino. Foi possível verificar que, para mais de 90% dos casos, o volume foi o fator limitativo. Desta forma, o fator peso não será considerado um fator limitativo. A desconsideração da geometria das unidades aquando do planeamento do transporte, conduz ao agendamento de carregamentos impossíveis de ser efetuados. Uma metodologia utilizada pelo departamento do SAC para absorver este problema reside na definição de uma encomenda *tampão*, ou seja, encomenda que

deve ser carregada em último lugar e que é expectável, dadas as combinações de geometrias, que não carregue na sua totalidade.

3.1.3 Processo de carregamento

Uma vez definidas as quantidades a carregar para um dado transporte, e tendo em consideração que a mercadoria deve estar produzida com uma semana de antecedência, os colaboradores realizam o *picking* desta para a zona de separação do armazém. A zona de separação encontra-se próxima do cais de carga e define-se como a zona de preparação para o carregamento. Este processo é realizado no dia anterior ao processo de carregamento. Desta forma, uma parte da equipa encontra-se a realizar o carregamento, retirando a mercadoria da zona de separação, em simultâneo com a outra parte da equipa que se encontra a separar a carga do dia seguinte para esta mesma zona à medida que existe espaço disponível.

Aquando da chegada do transportador, a mercadoria encontra-se ordenada na zona de separação e um colaborador deve proceder ao seu carregamento. Este processo é realizado tendo por base o conhecimento e experiência do operador, que deve imaginar de que forma o material pode ser acomodado na totalidade ao transporte. Existem dois tipos de carregamentos distintos: os carregamentos completos, para os quais o transporte é carregado na sua totalidade; os carregamentos em grupo, correspondem a carregamentos para os quais o transporte não será preenchido na totalidade com carga pertencente à empresa. O projeto teve como foco os carregamentos completos que têm apenas um destino final. O transporte completo é descarregado na sua totalidade em apenas um cliente e o custo é fixo, ou seja, independente do número de unidades a transportar. A definição deste âmbito como o do projeto advém da maior flexibilidade na alteração de quantidades a transportar para estes casos, visto que é do interesse de ambas as partes a redução do custo marginal associado ao transporte.

Neste espetro, assumindo que o departamento e Engenharia em conjunto com o SAC definiu um carregamento exequível, podem surgir problemas no APA de alocação, dado que este processo não se encontra normalizado e cabe ao operador responsável por esta tarefa tomar a decisão de como alocar a carga. Por vezes a metodologia aplicada é a de tentar e errar até que o carregamento esteja completo. Este método conduz a elevados tempos de carregamento. A separação da mercadoria na zona definida aquando da chegada do transportador também conduz a tempos de espera elevados deste na empresa. Os custos associados a tempos de carregamento elevados são os custos de trabalho e de paralisação.

3.2 Definição de objetivos

O âmbito do problema foi reduzido a contentores com enchimento completo para clientes que apresentam alguma flexibilidade em termos de quantidades de mercadoria a ser transportada. Para estes casos, tanto a empresa como o cliente são partes interessadas na redução de custos associados ao transporte. Os objetivos para a resolução do problema foram estabelecidos como os seguintes:

- Redução do custo marginal associado ao transporte;
- Promoção da segurança dos colaboradores;
- Promoção da integridade da carga durante o transporte;
- Promoção da sustentabilidade;

3.2.1 Redução do custo marginal associado ao transporte

A redução de custos associados ao transporte poderia trazer vantagens para a empresa e para o cliente a analisar. Esta redução poderia conduzir a uma redução no preço dos produtos, tornando a empresa mais competitiva pela prática de preços mais baixos relativamente às restantes empresas. Ao cliente seria oferecido um preço mais baixo e a empresa poderia obter uma maior procura pela prática de um preço inferior, sem comprometer a margem de contribuição. Os custos associados ao transporte subdividem-se em:

- custo do frete, ou seja, o custo que é pago ao transportador para que a mercadoria chegue do ponto A ao ponto B;
- custo do trabalho, ou seja, o custo que é pago aos operadores para que coloquem a mercadoria no transporte correspondente;
- o custo de paralisação, que corresponde ao valor pago ao transportador por hora quando este se encontra na empresa durante um tempo superior ao definido contratualmente para a realização da carga.

Frete

O custo do frete representa o custo pago ao transportador para que este leve a carga da localização A para a localização B. Custos acessórios, como por exemplo o seguro, foram desconsideradas. Este custo depende de vários fatores:

- Localização geográfica: envios para diferentes localizações possuem custos de frete distintos;
- Tipo de transporte: o transporte pode ser realizado recorrendo a vários tipos de contentores, representados na Tabela 1. O transporte em contentor é realizado via marítima.

Tabela 1 Tipos de transporte e respetivas dimensões em milímetros

Tipo de transporte	Comprimento	Largura	Altura	Altura aproximada da porta
20 FT	5451	2294	2201	2100
40 FT	12025	2350	2392	2300
40 FT HC	12025	2350	2697	2600
45 FT	13560	2352	2392	2300
45 FT HPW	13556	2440	2695	2600
45 FT Semirreboque	13560	2352	2392	2300

A empresa utiliza, para identificar o tipo de pagamento adjacente para transporte Internacional, os *Incoterms* referidos no livro de (Rushton, Oxley, and Croucher 2000), sendo que as principais alternativas são:

- *Free carrier* (FCA) – um transportador, escolhido pelo comprador, faz a recolha dos bens no local de produção;
- *Free alongside ship* (FAS) – o fornecedor paga a entrega das mercadorias no porto indicado pelo comprador;
- *Free on Board* (FOB) – o fornecedor paga para entrega no barco até ao ponto de exportação;
- *Cost and freight* (CFR) – o fornecedor paga o frete para o porto de destino e é responsável pela licença de exportação e pelo transporte e licença de embalagem;
- *Cost, insurance and freight* (CIF) – trata-se de o mesmo que o CFR, e o fornecedor paga o seguro na marina;
- *Carriage paid to* (CPT) – o fornecedor paga o frete e custos no ponto de destino;

- *Carriage/ insurance paid* (CIP) – trata-se do mesmo que CPT, mas o fornecedor paga o seguro da carga;
- *Delivered at frontier* (DAF) – o fornecedor entrega os bens, prontos para exportar, numa fronteira antes da que se refere ao cliente;
- *Delivered ex-ship* (DES) – o fornecedor paga todos os custos associados ao transporte e entrega os bens no barco até ao porto de destino;
- *Delivered ex-quay duty paid* (DEQ) – o fornecedor paga todos os custos associados ao transporte até ao porto e prepara os produtos para importação;
- *Delivery duty unpaid* (DDU) – o fornecedor é responsável por todos os custos e entrega ao comprador à exceção de deveres, taxas e custos de importação;
- *Delivered duty paid* (DDP) – o fornecedor é responsável pelo pagamento de todos os custos até a entrega ao consumidor.

Mesmo quando os custos de transporte são assumidos pela empresa, neste caso o fornecer, estes estão implícitos no preço do que é vendido ao cliente, ou comprador.

Custo de trabalho

O carregamento do contentor na empresa, atualmente, é realizado recorrendo à mão-de-obra humana. Estes poderão efetuar o carregamento recorrendo a um dispositivo mecânico, um empilhador ou têm de realizar o carregamento de forma manual de modo a conseguir acomodar a quantidade de unidades requeridas ao transporte. Este custo depende dos seguintes fatores:

- Carregamento mecânico: um carregamento mecânico é um carregamento passível de ser realizado, na sua totalidade, de forma mecânica. Este pode ser realizado com recurso a um empilhador, através da utilização dos garfos ou através de adaptadores.
- Carregamento manual: dada a geometria da carga e a quantidade a carregar, por vezes é necessário realizar o carregamento de forma manual. Este processo é realizado recorrendo a vários operadores que tem que alocar manualmente a carga ao transporte.
- Fator humano: a alocação da carga ao respetivo transporte depende da experiência e sensibilidade do operador.

Custo de paralisação

Os custos associados à paralisação são estabelecidos através de contratos com o transportador que definem qual é o período de tempo máximo que este se pode encontrar dentro das instalações da empresa para realizar a carga. Uma vez ultrapassado este período de tempo, a empresa começa a pagar um custo fixo por hora. Este custo depende dos seguintes fatores:

- Hora de carga: existem vários tipos de carregamentos a serem realizados em simultâneo, com distintos tempos associados. Estes tempos por tipologia não se encontravam definidos aquando do início do projeto. Existia a possibilidade de sobreposição de horários de carga.
- Capacidade existente: desconhecimento do número de pessoas alocadas a cada tipologia de carregamento por parte do SAC. Conduz a situações para as quais a capacidade necessária é inferior à capacidade existente no APA. Criação de filas de espera para que exista mão-de-obra disponível para realizar o carregamento.

3.2.2 Outros fatores decisivos

A empresa possui carregamentos manuais, à data da realização do projeto, o que implica que a carga seja alocada ao devido transporte pelo manuseio manual por parte dos colaboradores. De acordo com (Waters et al. 2011) no artigo sobre ergonomia no transporte, é referida uma equação criada pela *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH), de modo a avaliar os requisitos específicos de uma carga manual, sendo que neste estudo foi estabelecido como limite máximo de peso o transporte de 23 Kg.

A integridade da carga é também um tema fundamental uma vez que o dano na carga durante o transporte promove o aumento de custos para a empresa e afeta o nível de serviço ao cliente.

A sustentabilidade é um fator a pesar aquando da redução de custos, segundo (de Paiva 2016), ao utilizar-se a eficiência económica sem ter em consideração o impacto ambiental que esta trará, não se está a ter em consideração o impacto que poderemos causar nas gerações futuras. Desta forma, o problema apresentado não deve ser tido como uma melhoria económica caso esta ponha em causa o ambiente.

3.3 Definição do problema global

A redução de custos de transporte envolve vários fatores a ter em consideração. Destes destacam-se o tempo de carga, a integridade física dos colaboradores, a integridade da carga e a sustentabilidade. Do problema surge a necessidade de criar um sistema de apoio à decisão integrado que tenha em consideração os fatores referidos. Este sistema deve ser de fácil utilização, dando todas as opções para que estas sejam passíveis de ponderação por parte do decisor. Para testar a validade deste modelo, foi selecionado um cliente, definido como cliente A, que mostra flexibilidade para alterações de embalagem e de tipologia de carregamento.

Os tipos de produtos enviados para este cliente são unidades relativamente idênticas entre si, que se dividem em placas e rolos. Os rolos são de pequenas dimensões e as placas são embaladas em caixas idênticas para o transporte. Para este cliente, o carregamento efetuado é o carregamento mecânico recorrendo ao uso de paletes. Clientes com características semelhantes a este, podem ser analisados em trabalhos futuros.

4 Metodologia e solução proposta

A metodologia utilizada no projeto para cumprir com os objetivos definidos passou pela criação de um ficheiro de *Excel* que funcionasse como um sistema de apoio à decisão. Este sistema considera carregamentos manuais, mecânicos e híbridos. Para cada uma destas metodologias são calculados custos marginais e tempos de carga. Desta forma, o sistema permite a comparação de fatores de custo e de tempo, possibilitando o processo de escolha de número de unidades a carregar e metodologia de carregamento.

Considera-se que custos com empilhador são equivalentes para todos os métodos de carregamento, uma vez que mesmo para carregamentos manuais as unidades são transportadas para o cais de carga via mecânica. Os custos com embalagem foram considerados uma vez que tipos de carregamento diferentes exigem embalagens distintas.

4.1 Definição de tempos de carregamento

De modo a perceber quais são os fatores que têm maior impacto no tempo de carregamento de contentores completos, procedeu-se à recolha de dados. Dados quanto a tempos de carga não existiam na empresa aquando do início do projeto. Inicialmente, seria necessário definir quais deveriam ser os dados a recolher. Para tal e recorrendo ao conhecimento dos colaboradores, foi elaborada uma lista de fatores que estes consideravam como críticos. Os fatores enunciados foram os seguintes:

- Tamanho das paletes – paletes maiores implicam o transporte de um maior número de unidades para o contentor recorrendo a menos viagens;
- Tipo de carregamento – a tipologia de carregamento, ou seja, a alocação manual ou mecânica das unidades ao transporte, possui uma influência no tempo de carregamento. Carregamentos manuais implicam a alocação unidade a unidade, dadas as limitações físicas dos colaboradores. Carregamentos mecânicos permitem a alocação de várias unidades em simultâneo, desde que estas se encontrem devidamente acondicionadas a uma paleta;
- Tamanho do transporte – contentores de maiores dimensões possuem um maior volume a preencher, o que pressupõe um tempo de carregamento maior.
- Número de referências – uma referência corresponde a um código do sistema que se define pela geometria, embalagem e material que constitui o produto. Uma referência possui apenas uma geometria. A combinação de várias referências diferentes implica a combinação de várias geometrias. Esta combinação torna o processo mais complexo e logo mais demorado.

Estas variáveis foram reduzidas a duas, dadas as correlações observadas e que trariam complexidade à recolha de dados. Esta recolha de dados foi realizada pelos colaboradores.

As variáveis selecionadas para o modelo foram as seguintes:

- X_1 – Número de unidades carregadas manualmente;
- X_2 – Número de paletes carregadas;
- Y – Tempo de carregamento;

O número de paletes carregadas resume a relação entre o tamanho da paleta e o tamanho do transporte. Um transporte com menores dimensões a ser carregado com paletes de maiores dimensões, será traduzido num reduzido número de paletes a serem transportadas. O tempo de carga no tipo de carregamento mecânico está associado ao número de viagens que é necessário realizar até que todo o material seja alocado ao transporte. O carregamento do tipo manual

depende diretamente do número de unidades que o operador necessita transportar para dentro do contentor. Através da definição das variáveis $X1$ (número de unidades carregadas manualmente) e $X2$ (número de paletes carregadas), é possível ainda resumir qual a tipologia do carregamento. Casos em que a variável $X1$ toma o valor nulo referem-se a carregamentos mecânicos. Casos em que a variável $X2$ toma o valor nulo referem-se a carregamentos manuais. A Tabela 2 do Anexo A mostra os dados recolhidos pelos colaboradores quanto a tempos de carregamento.

Regressão linear múltipla

De modo a obter a regressão linear múltipla foi utilizado *Excel*, através do suplemento *Analysis ToolPack*, resultando na tabela ANOVA que se encontra na Tabela 3 do Anexo A.

Assumindo a normalidade dos erros, foram realizados os testes de hipóteses para os parâmetros da regressão.

Os testes foram realizados para um nível de significância de 5%. Seguindo a metodologia revista, são realizados os testes de hipóteses relativo aos parâmetros estimados α , constante, β_1 , parâmetro previsto da variável X_1 e β_2 , parâmetro previsto da variável X_2 . Considerando para cada um dos casos:

$$H_0: \alpha = 0 \quad (4.1)$$

$$H_1: \alpha \neq 0 \quad (4.2)$$

Para este caso, o *P-value* é de aproximadamente 0, valor esse inferior ao nível de significância definido de 5%, rejeitando a hipótese nula para o termo independente.

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = 0 \quad (4.3)$$

$$H_1: \beta_i \neq 0, i = 1, 2 \quad (4.4)$$

Para este caso, o *P-value* para β_1 é de aproximadamente 0 e de β_2 é de aproximadamente 0,0004, valores esses inferiores ao nível de significância estabelecido de 5%.

Ou seja, é possível considerar com um nível de significância de 5% que os valores de α , β_1 e β_2 são diferentes de zero.

Pela observação do coeficiente de determinação podemos aferir que cerca de 80% da variável Y é explicada pelas variáveis X .

Assumindo que esta percentagem é suficiente para aceitar este ajuste para os dados dos tempos, a reta de regressão linear múltipla que define os tempos de carregamento, de acordo com as unidades a carregar via manual ($X1$) ou paletes através de empilhador ($X2$) é a apresentada na função (4.5):

$$Y = 19,74 + 0,19 * X1 + 0,67 * X2 \quad (4.5)$$

Esta função foi criada com o objetivo de prever os tempos de carregamento para cada uma das opções a validar.

4.2 Construção de algoritmo para alocação de carga

O modelo idealizado é um problema *IIPP*, referido na revisão bibliográfica, de modo a simplificar o problema de otimização de carga, que se trata de um problema *NP-hard*. O modelo corresponde a uma simplificação do modelo 3D em vários modelos 1D e 2D. A alocação de unidades ao transporte dividiu-se em alocação de rolos e de caixas. Os algoritmos criados são utilizados para a definição do número máximo de unidades passível de ser alocada pelas várias metodologias estudadas.

4.2.1 Alocação de rolos

As três formas distintas de organização de cilindros são as referidas por (José and Ferreira 2014), que dividem a sua organização em:

- Organização I: ao traçar semirretas que unem os centros dos círculos que definem os cilindros, é possível observar que estas realizam 90 graus entre si;
- Organização X: os círculos são colocados em camadas que possuem N e N-1 círculos, respetivamente;
- Organização em Y: os círculos são colocados igualmente em camadas que possuem N e N círculos, e cuja semirreta que une os centros dos círculos não define 90 graus.

As variáveis que são comuns a todos os modelos são as apresentadas nas funções (4.6), (4.7) e (4.8):

$$m1d = \text{Int}\left(\frac{m1}{\text{diâmetro}}\right) \quad (4.6)$$

$$m2d = \text{Int}\left(\frac{m2}{\text{diâmetro}}\right) \quad (4.7)$$

$$m3a = \text{Int}\left(\frac{m3}{\text{altura}}\right) \quad (4.8)$$

Onde:

M1, dimensão maior a ser ocupada pela base dos cilindros,

M2, dimensão menor a ser ocupada pela base dos cilindros,

M3, dimensão a ser ocupada pela altura dos cilindros, e

Diâmetro, diâmetro da base dos cilindros.

Organização de cilindros do tipo I

- Organização em I - para este tipo de organização, o ângulo que se verifica entre a semirreta que une os vários cilindros é de 90°, como é possível verificar na Figura 2. Para avaliar o número de rolos possíveis de colocar para este tipo de organização, foi utilizada a equação (4.9):

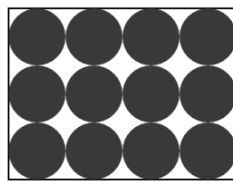


Figura 2 Organização de círculos de tipologia I in “B. Ferreira, Otimização do Carregamento de Cilindros em Contentores, (José and Ferreira 2014) , 2014”

$$NI = m1d * m2d * m3a \quad (4.9)$$

Onde,

NI , que representa o número de rolos alocados a este volume pelo método de alocação I.

Organização de cilindros do tipo X

- Organização em X – para este tipo de organização, os rolos são colocados nos intervalos da linha de rolos anterior, como é demonstrado na Figura 3. Para definir o espaço vazio entre os rolos, foi criada a equação (4.10).

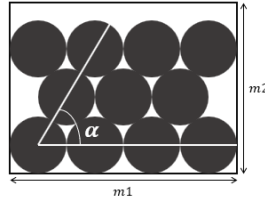


Figura 3 Organização de círculos de tipologia X in “B. Ferreira, Otimização do Carregamento de Cilindros em Contentores, (José and Ferreira 2014) , 2014”

$$empty_{spaceX} = \frac{m1 - m1d * diametro}{m1d - 1} \quad (4.10)$$

Onde,

$empty_{spaceX}$ é a diferença de espaço existente entre os rolos para o caso de $m1$ ser superior à soma dos diâmetros destes. Existem $N-1$ $empty_{spaceX}$ para N rolos.

O ângulo realizado entre os rolos, representado na Figura 3 como α , depende deste espaço vazio entre os rolos pelo que será tanto menor quanto maior o $empty_{spaceX}$ e será de 45° para o caso de $m1$ ser igual à soma dos diâmetros dos rolos, ou seja, para o caso em que $empty_{spaceX}$ é nulo.

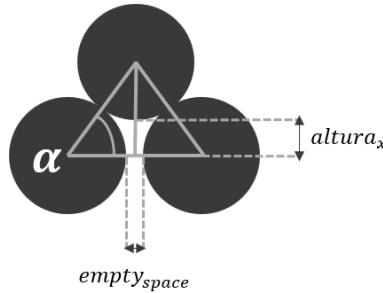


Figura 4 Representação gráfica da definição do ângulo entre os rolos da camada superior e inferior

A definição do ângulo entre os rolos pode ser consultada na Figura 4. Para proceder ao seu cálculo foi criada a equação (4.11).

$$\alpha_X = \cos^{-1} \left(\frac{\frac{empty_{spaceX}}{2} + \frac{diametro}{2}}{diametro} \right) \quad (4.11)$$

Este tipo de alocação pressupõe que o número de rolos a colocar seja menor em uma unidade a cada duas linhas colocadas. Em contrapartida, este tipo de organização tem a vantagem do ganho em altura relativamente ao tipo de organização em I. Portanto, este método representa uma vantagem quando a altura ganha permite a alocação de mais camadas e, por conseguinte, um maior número de rolos. A altura foi calculada através da equação (4.12).

$$altura_x = (\sin(\alpha) * diametro) - \frac{diámetro}{2} \quad (4.12)$$

Onde,

α_x é o ângulo realizado entre a camada inferior e superior dos rolos e

$altura_x$ é a altura ganha pela colocação dos rolos pela metodologia X.

Para realizar a computação desta metodologia, para o caso desta $altura_x$ ser inferior a zero como se pode ver na Figura 5, é criada uma nova variável, $altura_{auxiliarX}$, que possui o valor de zero. Como é possível observar esta altura é zero uma vez que, para este caso, as camadas pares e ímpares se tocam, respetivamente. Desta forma, a altura ganha está restrita ao valor de $altura_x$, ser negativo, pois caso contrário o sistema iria permitir a sobreposição de unidades. Para um valor positivo de $altura_x$ a variável $altura_{auxiliarX}$ toma o valor deste.

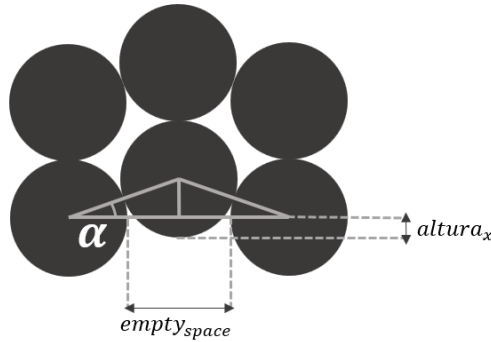


Figura 5 Altura auxiliar ganha calculada para o método X inferior a 0

As equações (4.13) e (4.14) representam o cálculo do número de camadas de cilindros a alocar pelo método X a um espaço cujas dimensões maior e menor são $m1$ e $m2$, respetivamente. As camadas completas, que possuem um valor de N rolos, encontram-se intercaladas com camadas incompletas, que possuem $N-1$ rolos.

$$Ncamadas_{completasX} = Int \left(\frac{m2 + 2 * altura_{auxiliarX}}{diámetro + 2 * altura_{auxiliarX}} \right) \quad (4.13)$$

$$Ncamadas_{incompletasX} = Int \left(\frac{m2 - \left(\frac{diámetro}{2} + altura_x \right) + 2 * altura_{auxiliarX}}{diámetro + 2 * altura_{auxiliarX}} \right) \quad (4.14)$$

Onde,

$Ncamadas_{completasX}$, representa o número de camadas completas para este tipo de organização,

$Ncamadas_{incompletasX}$, representa o número de camadas incompletas para este tipo de organização.

A representação gráfica das fórmulas descritas acima encontra-se na Figura 6.

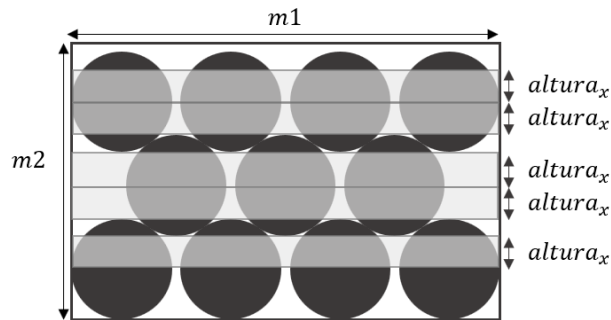


Figura 6 Representação gráfica da computação da altura auxiliar definida pelo método X

O cálculo do número de camadas completas necessita da soma de duas vezes a $altura_x$ de modo a considerar a última camada a ser colocada. De modo a possibilitar uma melhor compreensão, é possível consultar a Figura 7 e Figura 8.

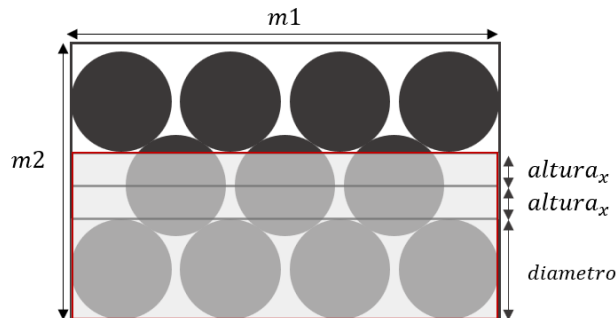


Figura 7 Divisão a realizar para computação do número de camadas completas passível de ser alocado pelo método X

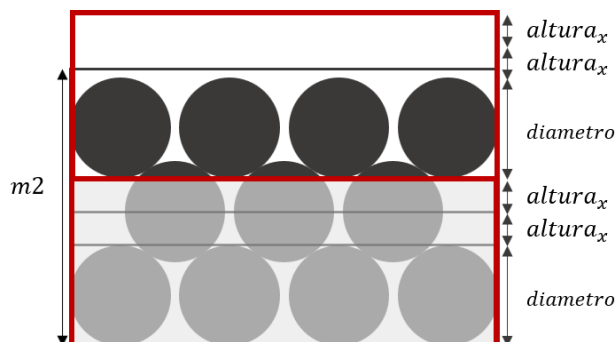


Figura 8 Cálculo da última camada completa a alocar através do método X

Apesar de ser possível colocar a segunda camada completa, esta não seria considerada a menos que a $m2$ fossem somados duas vezes a $altura_x$, como é possível verificar através da Figura 8.

No que diz respeito ao número de camadas incompletas, à altura $m2$ deve ser retirada a altura da primeira camada de rolos, uma vez que esta se trata sempre de uma camada completa. Desta forma, a $m2$ é retirada a soma da $altura_x$ com um $raio$ da base do cilindro, como é possível observar na Figura 9.

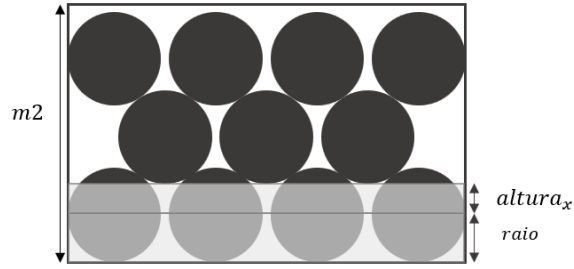


Figura 9 Definição da altura a partir da qual se colocam as camadas incompletas de rolos a partir do método X

Pelo mesmo motivo que foi revisto para o caso do número de camadas completas, também para este é necessário somar duas vezes a $altura_{auxiliar}$ para que seja permitida a alocação da última camada de rolos, como é possível verificar na Figura 10.

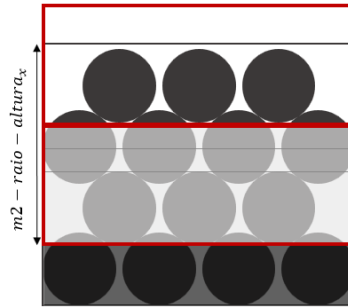


Figura 10 Representação gráfica da última camada incompleta de rolos a alocar pelo método X

Desta forma foi possível computadorizar este tipo de alocação para vários tamanhos de cilindros, sendo que o resultado final é dado pela equação (4.15).

$$NX = \left(Ncamadas_{completasX} * m1d + Ncamadas_{incompletasX} * (m1d - 1) \right) * m3d \quad (4.15)$$

Onde,

NX , que representa o número de rolos alocados a este volume pelo método de alocação X.

Organização de cilindros do tipo Y

- Organização em Y – para este tipo de organização, é possível definir um ângulo diferente de 90 graus pela interceção das semirretas que unem os centros dos círculos, como e demonstrado na Figura 11.

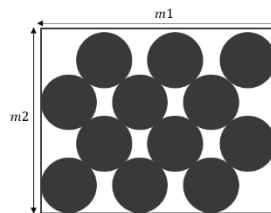


Figura 11 Organização de círculos de tipologia Y in “B. Ferreira, Otimização do Carregamento de Cilindros em Contentores, (José and Ferreira 2014), 2014”

Para este caso, as linhas são intercaladas com camadas com o mesmo número de rolos, mas estas possuem um ângulo entre elas diferente de 90°, ao contrário da alocação em I. Para tal, foi definido o espaço vazio rolos. Este define-se pela equação (4.16):

$$empty_{spaceY} = \frac{m1 - \frac{diámetro}{2} - m1d * diámetro}{m1d * 2 - 1} \quad (4.16)$$

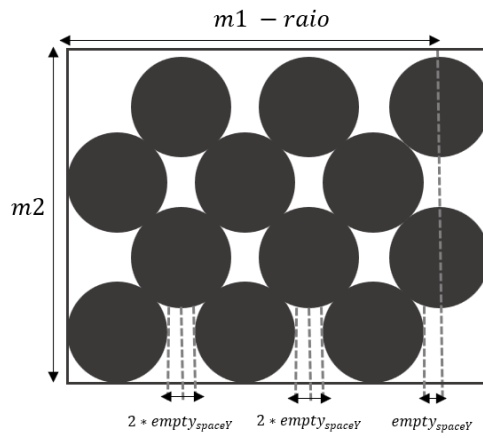


Figura 12 Definição dos espaços vazios entre os rolos pelo método de organização Y

É possível perceber a definição de $empty_{spaceY}$ através da Figura 12. Será necessário definir o ângulo realizado entre os rolos. Este é definido pela equação (4.17):

$$\alpha_Y = \cos^{-1} \left(\frac{empty_{spaceY} + \frac{diámetro}{2}}{diámetro} \right) \quad (4.17)$$

Aplicando a mesma metodologia utilizada para o cálculo do número de rolos possíveis de alocar a um volume pelo método X, temos para o método Y a altura definida pela equação (4.18):

$$altura_y = (\sin(\alpha) * diámetro) - \frac{diámetro}{2} \quad (4.18)$$

Para o caso de $altura_y$ ser inferior a zero, é criada uma nova variável $altura_{auxiliary}$, com uma dinâmica semelhante à revista anteriormente para a metodologia X. Esta será igual a zero para o caso de $altura_y$ ser inferior a zero e será igual à $altura_y$, caso este valor seja maior do que zero.

O cálculo do número de rolos passíveis de ser alocados a este volume para este método é semelhante ao cálculo realizado para o método X, sendo que as filas ímpares de camadas completas são definidas pela equação (4.19) e pares pela equação (4.20).

$$N_{camadas_{completas1Y}} = Int \left(\frac{m2 + 2 * altura_{auxiliarY}}{diâmetro + 2 * altura_{auxiliarY}} \right) \quad (4.19)$$

$$N_{camadas_{completas2Y}} = Int \left(\frac{m2 - \left(\frac{diâmetro}{2} + altura_Y \right) + 2 * altura_{auxiliarY}}{diâmetro + 2 * altura_{auxiliarY}} \right) \quad (4.20)$$

Onde,

$N_{camadas_{completas1Y}}$, representa o número de camadas completas para este tipo de organização iniciando a contagem pela primeira e contando todas as camadas ímpares, e

$N_{camadas_{completas2Y}}$, representa o número de camadas incompletas para este tipo de organização iniciando a contagem pela segunda e contando todas as camadas pares.

Os três métodos foram computadorizados através de uma macro recorrendo ao *Excel*. A aplicação prática destes métodos vai estar associada a restrições para cada tipo de carregamento, descritos nos capítulos seguintes.

4.2.2 Alocação de caixas

Para realizar a alocação de caixas, o modelo criado prevê a redução de um problema 3D a um problema 1D. Esta aproximação conduz à repetição do padrão selecionado em todo o contentor, o que pode não corresponder a uma solução ótima, mas que corresponde a um processo de carga simples.

Para definir o problema, procurou-se maximizar as funções (4.21), (4.22) e (4.23).

$$n_c * comprimento_{caixa} + n_l * largura_{caixa} + n_a * altura_{caixa} \leq altura_{transporte} \quad (4.21)$$

$$n_c * comprimento_{caixa} + n_l * largura_{caixa} + n_a * altura_{caixa} \leq largura_{transporte} \quad (4.22)$$

$$n_c * comprimento_{caixa} + n_l * largura_{caixa} + n_a * altura_{caixa} \leq comprimento_{transporte} \quad (4.23)$$

Onde,

$comprimento_{transporte}$, corresponde ao comprimento do transporte,

$largura_{transporte}$, corresponde à largura do transporte,

$altura_{transporte}$, corresponde à altura do transporte,

n_c corresponde ao número de unidades a colocar com o comprimento na dimensão a avaliar ($comprimento_{transporte}$, $altura_{transporte}$ e $largura_{transporte}$)

n_l corresponde ao número de unidades a colocar com a largura na dimensão a avaliar ($comprimento_{transporte}$, $altura_{transporte}$ e $largura_{transporte}$)

n_a corresponde ao número de unidades a colocar com a altura na dimensão a avaliar ($comprimento_{transporte}$, $altura_{transporte}$ e $largura_{transporte}$)

Para cada caso, a combinação selecionada será aquela que garanta um comprimento, altura ou largura mais aproximado das dimensões respetivas do contentor. Após maximização 1D, são avaliadas as restantes possibilidades tendo em conta que as caixas podem ser colocadas em qualquer direção paralela às paredes do contentor, ou seja, com 6 orientações possíveis. Como

lados iguais conduzem a resultados iguais, as 6 possibilidades reduzem-se a 3, sendo que uma já se encontra selecionada pela maximização realizada na iteração anterior, realizada para diminuir o número de combinações a avaliar.

O cálculo do número de unidades para esses espaços segundo orientações diferentes encontra-se presente nas equações (4.24) e (4.25).

$$n1_{altura,altura} = n_a * Int\left(\frac{largura_{transporte}}{largura_{caixa}}\right) * Int\left(\frac{comprimento_{transporte}}{comprimento_{caixa}}\right) \quad (4.24)$$

$$n2_{altura,altura} = n_a * Int\left(\frac{largura_{transporte}}{comprimento_{caixa}}\right) * Int\left(\frac{comprimento_{transporte}}{largura_{caixa}}\right) \quad (4.25)$$

Ou seja, para a maximização realizada na altura do transporte, para as caixas que devem ser alocadas em altura, n_a , são calculadas o número de unidades pela alocação na direção 1 ou 2. A direção que produzir um maior número de unidades é a direção selecionada. O mesmo exercício é realizado para o comprimento e largura da caixa e para a maximização em comprimento e em largura do transporte.

Para finalizar, são somadas o número de caixas para os diferentes casos. A partir da comparação dos vários cenários, é possível atingir um valor máximo de caixas a transportar.

4.2.3 Alocação de paletes

As paletes são alocadas ao transporte utilizando uma metodologia semelhante à aplicada a caixas, sendo que neste caso apenas são consideradas duas dimensões uma vez que é pré-determinada a direção da face voltada para cima e para baixo. Apenas se considera a colocação de um tipo de paleta por estudo. Esta seleção facilita a normalização do processo, em termos práticos. Este tipo de paleta resulta de uma ponderação entre a taxa de uso desta paleta pela empresa e a percentagem de área ocupada na base do contentor por parte desta.

4.3 Tipos de carregamento

Os carregamentos a testar subdividem-se em carregamentos mecânicos, manuais ou híbridos. Os tempos para cada um dos tipos de carregamento foram estudados nos capítulos anteriores, sendo que neste capítulo se realiza um cálculo do número de unidades passíveis de alocar para cada um destes tipos de carregamento.

4.3.1 Carregamento manual

O carregamento manual de unidades pressupõe que as unidades são alocadas ao transporte recorrendo ao uso de força por parte dos colaboradores. Neste tipo de carregamento, as dimensões a considerar para preenchimento com as unidades são a totalidade do contentor, uma vez que a altura de entrada da porta não é relevante e que não existe a necessidade de palete. Neste carregamento são necessárias três pessoas, uma delas no empilhador para transportar as unidades para o local de carregamento e levá-las via mecânica quando necessário, para que os colaboradores que realizam o carregamento manual não tenham que realizar esforços, e duas pessoas para realizar o carregamento, para que o peso seja distribuído por ambas.

Alocação de cilindros

Para este caso, as equações definidas no Capítulo 4.2.1 são utilizadas para calcular qual o número máximo de cilindros a alocar manualmente a um tipo de transporte. Escolhido o tipo de transporte, inicialmente é realizada uma otimização 1D que estará na base da alocação em 3D. Esta aproximação foi realizada para que não fosse necessário testar todos os casos possíveis, que tornariam o modelo demasiado complexo. A definição inicial sobre a forma como as unidades são alocadas é semelhante à maximização utilizada para a alocação de caixa. Esta define-se pela maximização das funções (4.26), (4.27) e (4.28).

$$n_{base} * diametro_{rolo} + n_{altura} * altura_{rolo} \leq altura_{transporte} \quad (4.26)$$

$$n_{base} * diametro_{rolo} \leq largura_{transporte} \quad (4.27)$$

$$n_{base} * diametro_{rolo} + n_{altura} * altura_{rolo} \leq comprimento_{transporte} \quad (4.28)$$

A maximização destas funções conduz ao resultado de quantos rolos de pé ou deitados devem ser colocados em cada dimensão do transporte com o objetivo de maximizar a ocupação. De forma semelhante ao visto para caixas, a combinação de diâmetro e altura que gerar um comprimento, largura ou altura mais próximo das respetivas dimensões no contentor, será selecionada. Para rolos deitados e de pé, são testadas as 3 metodologias referidas anteriormente, organização I, X e Y.

Uma das restrições estabelecidas para este tipo de carregamento foi que as unidades não podem ser alocadas de modo a rolaem para o lado da porta de abertura do transporte. Esta restrição foi estabelecida por questões práticas, ou seja, a carga e descarga de cilindros que rolam na direção da porta do transporte pode colocar em causa a segurança de quem realiza este processo. Desta forma, não é possível alocar a altura dos rolos à largura do transporte.

Após definirmos qual é a combinação que otimiza uma das dimensões do transporte, altura, comprimento ou largura, são testados os métodos definidos anteriormente de alocação, X, I e Y. Para cada um dos casos, o método que maximiza o número de unidades a transportar é utilizado, sendo que a soma corresponde ao valor final de rolos a transportar.

Alocação de caixas

O processo de alocação exemplificado na explicação do algoritmo utilizado para alocação de caixas ao transporte corresponde a um carregamento manual. As várias opções são comparadas, sendo que as dimensões a preencher correspondem às dimensões internas do transporte.

4.3.2 Carregamento mecânico

Para os carregamentos mecânicos foram testados dois tipos de dispositivos a utilizar, o empilhador e um adaptador de empilhador referido como sistema *Load push-pull* no livro (Rushton, Oxley, and Croucher 2000). Devido a restrições estabelecidas pelo departamento de Engenharia causadas pelas limitações de embalagem da produção, foi estabelecido que as duas primeiras camadas de rolos devem ir de pé, sendo que as restantes podem ir deitadas por cima da paleta. Para espessuras superiores a 3mm não é permitida a colocação de rolos deitados por cima dos rolos de pé que se encontram na paleta.

Carregamento com os garfos do empilhador

Para este tipo de carregamento é necessário o uso de uma paleta. De modo a promover a integridade da carga foi estabelecido como restrição que a totalidade desta deve estar contida na área da paleta. No caso de carregamento mecânico não é necessário avaliar todos os cenários possíveis, uma vez que o departamento de Engenharia definiu que as duas primeiras camadas de rolos vão de pé e as restantes deitadas. Para cada camada são testadas as alocações do tipo X, Y e I e validada a que permite a alocação de um maior número de unidades. Sendo que a mercadoria é carregada como um bloco, a altura a considerar para alocação de carga é a altura da porta do contentor. A esta altura deve ser retirada ainda a altura da paleta, uma vez que é a partir desta que a carga começa a ser alocada. Para o caso de caixas, e por imposições por parte da produção, apenas podem ser estivadas 7 caixas no máximo por paleta em altura. Também para estes casos a carga é alocada como se de um bloco se tratasse.

Carregamento com o adaptador *Load push-pull*

Pela avaliação de vários métodos de carregamento, o *Load push-pull* é um dos métodos utilizados para minimizar o recurso ao carregamento manual, que promove também a sustentabilidade pela substituição de uma paleta de madeira por uma folha de papel. Informações sobre este mecanismo encontram-se presentes no livro (Rushton, Oxley, and Croucher 2000), sendo que se trata de um dispositivo que se monta nos garfos do empilhador, que permite prender o rebordo de uma folha, que deve ser substituída pela paleta, trazendo a carga para cima da plataforma. Sendo que a carga já se encontra em cima da plataforma, pode ser transportada e posteriormente colocada dentro do contentor.

Aplicado ao modelo, este método tem por base o mesmo conceito do carregamento de paleta. A maior diferença para o modelo de decisão é a altura a avaliar que exclui a altura da paleta, pela utilização de uma folha que se assume ter altura desprezável. Este tipo de carregamento tem a vantagem de permitir o aumento do número de unidades carregadas pela ausência do volume da paleta. Este processo é de fácil implementação para carregamentos que são atualmente realizados via manual, uma vez que são descarregados atualmente dessa forma no cliente. Para clientes cujo carregamento seja mecânico, iria implicar a compra de um adaptador de *Load push-pull* também por parte destes para realizar a descarga.

4.3.3 Carregamento híbrido

Foi ainda considerado um tipo de carregamento híbrido, ou seja, parcialmente mecânico e parcialmente manual. A sua criação surge com o objetivo de gerar um balanço entre tempo de carregamento e número de unidades transportadas. Neste modelo ocorre a colocação de unidades de pé via método mecânico e unidades deitadas por cima destas por via manual, recorrendo a uma combinação dos algoritmos utilizados anteriormente. Prevê-se um maior número de unidades a carregar relativamente aos carregamentos mecânicos porque existe uma menor restrição de espaço pois no carregamento mecânico, as unidades deitadas estão confinadas à área da paleta. Neste tipo de carregamento e para espessuras superiores a 3 mm, existe a impossibilidade de carregamento de unidades deitadas através de meio mecânico, o que não invalida a sua colocação manual. As dimensões a considerar para o carregamento manual das unidades são as diferenças entre a altura interior do transporte e a altura alocada ao carregamento mecânico, com o comprimento e largura interna do transporte. Para este tipo de carregamento foram realizados os cálculos para o uso dos garfos do empilhador e para o uso do adaptador *Load push-pull*, mantendo os pressupostos assumidos para estes anteriormente.

4.4 Construção de modelo de tomada de decisão

Para construir ao modelo de tomada de decisão, recorreu-se ao *Excel* e à utilização de macros. Através dos algoritmos criados, foi possível definir o número de unidades a carregar para cada um dos casos referidos anteriormente, com um tempo de carregamento associado. De modo a aproximar o modelo à realidade e tendo por objetivo não trazer uma maior complexidade a este processo, foi adicionada a opção de carregar apenas uma percentagem do transporte. O carregamento de várias referências implica, portanto, a partição do transporte pelo seu comprimento, em partes iguais, para as quais será realizada a otimização dessa referência na sua parcela correspondente. Esta criação de blocos poderá não conduzir a um resultado final ótimo, mas facilita o processo de alocação prático uma vez que os operadores sabem que o preenchimento do contentor se irá realizar por ordem de referências. Facilita também o processo de distribuição de carga, pela colocação do bloco com um peso superior próximo do centro de gravidade do transporte, ou seja, o mais próximo do ponto central e no solo. Esta informação deve ser transmitida para que os operadores realizem o carregamento devidamente. Os custos foram calculados por metro cúbico de material transportado, pelas características dos produtos da empresa. Segundo dados recolhidos no site <https://www.pordata.pt>, consultado no dia 03/06/2019 pelas 19:55, o salário médio mensal em Portugal são 943,0 euros. Assumindo que um mês é composto aproximadamente por 4 semanas completas e que este valor foi estabelecido para 8 horas de trabalho diárias, obtemos o valor de 5,89 euros por hora. Este será o valor utilizado para calcular o custo de trabalho associado ao transporte de carga, por uma questão de confidencialidade do nível salarial praticado na empresa.

Este modelo considera ainda custos de paralisação. Após o período de tempo definido, é pago ao transportador um valor fixo por hora que deve ser também considerado nos cálculos de custo associado ao transporte. O modelo terá em consideração os três custos referidos na definição do problema, custo de transporte, custo de trabalho e custo de paralisação. Como critérios de avaliação devem ser utilizados os referidos para além do custo, como a segurança dos colaboradores no transporte, a integridade da carga durante o transporte e a promoção da sustentabilidade.

De modo a facilitar a compreensão da utilização do modelo de tomada de decisão, após a inserção dos *inputs* os dados que podem ser recolhidos a partir deste podem ser consultados na Figura 13.

Através das fórmulas descritas anteriormente, são calculadas o número de unidades passíveis de serem alocadas através de cada um dos métodos, como é possível verificar. De seguida, é calculada a duração do carregamento tendo por base a reta de regressão estabelecida anteriormente. Através deste, é possível calcular o custo associado ao trabalho e à paralisação. Para finalizar, todos os custos são somados e divididos pelo número de unidades e metros cúbicos máximos a transportar através de cada método. A tipologia mais económica por unidade também corresponde à tipologia mais económica por metro cúbico, uma vez que todas as unidades para um estudo são semelhantes.

	Manual	Empilhador	Load push-pull	Hibrido palete	Hibrido Load push-pull
Nº de unidades manual	2376	0	0	396	528
Nº de unidades mecânico	0	2170	2108	1736	1736
Custo de transporte	832,00 €	832,00 €	832,00 €	832,00 €	832,00 €
Tempo (minutos)	477	40	38	112	137
Tempo (horas)	7:57	0:39	0:38	1:52	2:16
Custo de mão-de-obra	140,58 €	3,91 €	3,75 €	22,00 €	26,82 €
Custo paralização	120,00 €	- €	- €	- €	- €
Custo de paletes/folhas	- €	119,04 €	15,50 €	119,04 €	15,50 €
Custos	1 092,58 €	954,95 €	851,25 €	973,04 €	874,32 €
Custo unitário	0,46 €	0,44 €	0,40 €	0,46 €	0,39 €
			Total	2132	2264
Custo por metro cúbico	25,55 €	24,45 €	22,43 €	25,36 €	21,45 €

Figura 13 Informações resultantes do sistema de apoio à decisão criado pela realização do projeto

4.5. Cliente A

Após a construção do modelo de decisão, este foi utilizado para avaliar a possibilidade de redução de custos associados ao transporte de carga para o que iremos definir como cliente A. Segundo dados de 2018, e assumindo que estes se mantêm inalterados para este ano, o método de pagamento associado ao transporte deste cliente é o CIF (a empresa paga o frete para o porto de destino e é responsável pela licença de exportação e pelo transporte e licença de embalagem, bem como pelo seguro na marina). O valor do frete estabeleceu-se nos 832 euros para um contentor 40 FT HC, durante todo o ano. Este valor será tido como o custo fixo associado ao transporte durante o ano corrente. Não será realizada uma análise para outros tipos de transporte uma vez que este foi selecionado dada a disponibilidade do equipamento para o destino em questão, tendo em conta as necessidades do cliente. Os custos de paralisação para o transportador para este cliente são de 30 euros por hora e são aplicados para carregamentos superiores a 4 horas. Das encomendas deste cliente, 68,00 % correspondem a rolos, com espessuras compreendidas entre os 1,8 mm e os 9,8 mm, altura 1.000 mm e comprimento 10.000 mm. Dos restantes, 22,09% tratam-se de placas embaladas em caixas com comprimento 915 mm, largura 610 mm e com espessuras entre os 2 mm e os 10 mm. Estas são embaladas em apenas um tipo de caixas, com altura de 150 mm. Esta será a única geometria a validar para placas, visto que estas não podem ser transportadas avulso. Os restantes 9,91% correspondem a amostras e quantidades residuais que não serão analisadas. Foi realizado um estudo da quantidade a transportar que corresponde ao menor custo marginal, por unidades transportadas.

4.5.1. Alocação da carga à palete

Rolos

Para este tipo de material, foram criadas tabelas com o custo por método cúbico para cada metodologia. Estas referências possuem espessuras compreendidas entre 1,8mm e 10mm, sendo que a altura e o comprimento para todas são de 1.000 mm e 10.000 mm respetivamente. Como referido na revisão bibliográfica, para cada tipo de produto existe um gráfico de custo com uma parcela fixa e variável. Este estudo assume as seguintes restrições:

- Uso de apenas um tipo de palete para todas as referências de rolos a transportar;
- Estudo realizado assumindo que numa viagem apenas será transportada uma referência;

Atualmente, todas as unidades são carregadas através de carregamento mecânico recorrendo a empilhador. Os dados com as unidades transportadas para o cliente encontram-se presentes na Tabela 5 do Anexo C.

Dados recolhidos junto da produção levam à conclusão que o diâmetro interno vazio para referências que possuem uma espessura até 3mm é de 20mm e para referências com espessuras superiores a este valor, o diâmetro interno é de cerca de 80mm. Prende-se com a necessidade de um tubo de cartão para enrolar referências cuja espessura é superior a este valor. Portanto, é expectável que o custo por metro cúbico sofra uma diferença nesta transição. A impossibilidade de sobrepor rolos deitados para espessuras superiores a este valor, no caso de carregamentos mecânicos, também se espera que gere uma variação nos custos para esta metodologia.

A paleta 1150 x 760 x 131 mm é utilizada em cerca de 90% das referências de rolos e garante uma taxa de ocupação na área deste transporte em específico de 96%. Esta foi, portanto, a paleta selecionada para a realização do estudo para todas as referências. Foi selecionado apenas um tipo de paleta para realização de alocação via mecânica de modo a facilitar a posterior normalização do processo de alocação de paletes ao contentor, uma vez que uma combinação de vários tipos de paletes diferentes torna o processo de alocação de carga por parte dos colaboradores mais difícil.

Os custos calculados para cada tipologia dividem-se em:

- Custos variáveis: dentro destes custos é possível identificar custos associados à paralisação (CV1), custos associados à mão-de-obra (CV2) e custos associados à embalagem, paletes ou folhas (CV3). Foram também calculados os custos variáveis marginais (CVM), ou seja, custos variáveis por metro cúbico;
- Custo fixo (CF): considerou-se como custo fixo o valor de frete a pagar para transportar a mercadoria para o cliente, uma vez que este não se altera com uma alocação de um maior número de unidades. Para os custos fixos também foram calculados os custos fixos por metro cúbico transportado, ou seja, custos fixos marginais (CFM).

A soma dos custos marginais, fixos ou variáveis, corresponde aos custos totais marginais (CTM). Para o cálculo destes custos foram necessários identificar os tempos de carregamento, através da reta definida nas secções anteriores, o número de paletes ou folhas a alocar ao transporte e o número de unidades a alocar por cada via, mecânica ou manual.

O estudo foi realizado para todas as espessuras sendo que apenas se vai analisar em maior detalhe referências com 2mm.

Este carregamento atualmente é realizado via mecânica, sendo que foi estimado um custo associado de 22,23 €/m³. Atualmente são alocados mais rolos à paleta do que as quantidades calculadas porque estes são transportados parcialmente fora da paleta. Esta foi uma das restrições estabelecidas pelo modelo, não considerar rolos que saem a paleta, de modo a garantir a integridade da carga.

Para a tipologia de carregamento manual, é possível observar na Tabela 6 do Anexo D que, para os custos variáveis marginais, estes são decrescentes até atingir um tempo de carregamento de 4h, momento em que se inicia o pagamento de um custo de paralisação, a partir deste ponto os custos variáveis marginais são crescentes. Os custos variáveis associados à embalagem, paleta ou folha, assumem-se nulos. Os custos fixos marginais são sempre decrescentes com o aumento do número de unidades a transportar. Os custos totais marginais, calculados em custo por metro cúbico, estes são decrescentes com o aumento do número de unidades a transportar, sendo que para o valor máximo passível de ser transportado se cifram em 19,80 €/m³.

Para a tipologia de carregamento recorrendo aos garfos do empilhador, é possível observar na Tabela 7 do Anexo D que, para os custos variáveis marginais, estes são decrescentes com o aumento do número de unidades até atingirem o valor máximo a ser transportado. Neste caso, os custos com paralisação são nulos, uma vez que o limite de 4 horas nunca é atingido, o custo com as paletes é crescente e linear com o número de paletes a alocar e o custo com mão-de-obra aumenta com o tempo de carregamento. Os custos fixos marginais são sempre decrescentes com o aumento do número de unidades a transportar. Os custos totais marginais, calculados em custo por metro cúbico, estes são decrescentes com o aumento do número de unidades a transportar, sendo que para o valor máximo passível de ser transportado se cifram em 21,39 €/m³.

Para a tipologia de carregamento mecânico recorrendo ao adaptador *Load push-pull*, é possível observar na Tabela 8 do Anexo D que, os custos variáveis e fixos são idênticos aos custos associados ao outro tipo de carregamento mecânico referido. As grandes diferenças residem em ser possível colocar um maior número de rolos pela ausência da paleta e o custo da folha ser inferior. Esta opção, relativamente à opção anterior, corresponde a uma perspetiva mais sustentável. Os custos totais marginais, calculados em custo por metro cúbico, estes são decrescentes com o aumento do número de unidades a transportar, sendo que para o valor máximo passível de ser transportado se cifram em 18,07 €/m³.

Para a tipologia de carregamento híbrido recorrendo aos garfos do empilhador, é possível observar na Tabela 9 do Anexo D que, mesmo recorrendo ao carregamento manual, o tempo limite de paralisação de 4 horas nunca é excedido. Existe ainda o custo de embalagem associado à paleta, uma vez que o carregamento possui uma componente manual. Neste caso, os custos totais marginais não são para o caso do transporte do número máximo de unidades. Para este, o custo cifrou-se em 19,95 €/m³.

Para a tipologia de carregamento híbrido recorrendo ao adaptador *Load push-pull*, é possível observar na Tabela 10 do Anexo D que, é possível observar que, também para este caso, não existe um custo de paralisação associado ao carregamento. O custo de embalagem será inferior do que para o carregamento com paleta e também será possível alocar um maior número de rolos. Para este caso, o menor custo total marginal também se definiu para o número máximo de rolos passível de ser alocado e o valor foi estabelecido em 17,35 €/m³.

Comparando todas as alternativas, para o caso de referências com 2mm de espessura, a melhor alternativa seria um carregamento híbrido recorrendo ao adaptador *Load push-pull*. Esta opção, para além de ser a mais sustentável das alternativas mecânicas, confere ainda uma melhoria em termos de custos relativamente aos outros métodos desta tipologia, uma vez que o volume a ocupar é maior e o custo de embalagem é menor. Foi também definido como parâmetro a segurança dos colaboradores, eliminando o carregamento manual, a opção de carregamento mecânico com *Load push-pull* teria um custo maior, relativamente à opção mais económica, de 0,72 €/m³.

O mesmo exercício foi realizado para as restantes espessuras, sendo que a Figura 14 representa o quadro resumo dos custos por metro cúbico para cada referência produzida na empresa e enviada para este cliente. Neste quadro foram calculados custos para a situação atual e para os 5 métodos de alocação testados.

Custo por metro cúbico e número de unidades a transportar para as diferentes tipologias de carregamento																								
Espessura (mm)	Nº unidades	M³	%	Atual	Nº unidades	M³	%	A	Nº unidades	M³	%	B	Nº unidades	M³	%	C	Nº unidades	M³	%	D	Nº unidades	M³	%	E
1,8	2480	44,6	61%	21,43 €	3330	59,9	82%	20,63 €	2170	39,1	54%	24,45 €	2418	43,5	60%	19,56 €	2479	43,5	60%	21,90 €	2644	47,6	65%	18,48 €
2,0	2170	43,4	59%	22,23 €	2996	59,9	82%	19,82 €	2232	44,6	61%	21,39 €	2356	47,1	65%	18,07 €	2446	47,1	65%	19,95 €	2600	52,0	71%	17,35 €
2,5	1488	37,2	51%	25,67 €	2376	59,4	81%	18,39 €	1984	49,6	68%	19,25 €	2108	52,7	72%	16,16 €	2132	52,7	72%	18,26 €	2264	56,6	78%	15,45 €
2,8	1612	45,1	62%	21,16 €	2100	58,8	81%	17,80 €	1736	48,6	67%	19,65 €	1736	48,6	67%	17,52 €	1752	48,6	67%	19,74 €	1884	52,8	72%	16,49 €
3,8	990	35,3	48%	27,00 €	1341	51	70%	18,52 €	990	35,3	48%	27,02 €	990	35,3	48%	24,09 €	1128	35,3	48%	22,55 €	1227	46,6	64%	18,59 €
4,8	744	35,7	49%	26,71 €	1056	50,7	69%	17,71 €	744	35,7	49%	26,74 €	744	35,7	49%	23,84 €	920	35,7	49%	21,87 €	920	44,2	61%	19,52 €
5,8	504	29,2	40%	32,62 €	928	53,8	74%	16,54 €	558	32,4	44%	29,51 €	558	32,4	44%	26,31 €	646	32,4	44%	25,68 €	734	42,6	58%	20,25 €
7,8	372	29	40%	32,91 €	721	56,2	77%	15,62 €	372	29,0	40%	32,91 €	372	29,0	40%	29,34 €	449	29,0	40%	27,46 €	526	41,0	56%	20,99 €
9,8	372	36,5	50%	26,20 €	552	54,1	74%	16,07 €	372	36,5	50%	26,20 €	372	36,5	50%	23,36 €	438	36,5	50%	22,40 €	438	42,9	59%	19,99 €

A - Carregamento Manual

B - Carregamento mecânico com empilhador

C - Carregamento mecânico com adaptador *Load push-pull*

D - Carregamento híbrido com recurso a empilhador

E - Carregamento híbrido com recurso ao adaptador *Load push-pull*

Figura 14 Quadro resumo de metros para espessuras e rolos transportados para o cliente A, com os metros cúbicos a transportar, a taxa de ocupação e os custos marginais totais por tipologia de transporte

Observando os vários custos, é possível estabelecer que para o carregamento mecânico, será sempre preferencial o uso do adaptador *Load push-pull*. O mesmo se passa para os carregamentos híbridos, para todos os casos o adaptador obteve um melhor resultado em termos de custo relativamente aos garfos do empilhador.

É ainda possível observar que os carregamentos mais económicos correspondem aos carregamentos o tipo manual, sendo que estes permitem a alocação de mais metros cúbicos e uma taxa de ocupação maior.

Observando estes valores em conjunto com o tempo de carregamento, dados presentes na Figura 15, é possível aferir que para alguns casos não é exequível realizar estes carregamentos manualmente, mesmo com recurso a três pessoas. O carregamento mais longo realizado na empresa, que se prevê que possua um tempo compreendido entre 3 e 4 horas, corresponde à alocação de 900 unidades. É ainda a partir do limite das 4 horas que se inicia o pagamento de paralisações. Poderíamos, desta forma, excluir carregamentos com tempo superior a 4 horas, ou seja, carregamentos manuais para unidades com espessuras inferiores a 4,8 mm.

Ainda assim, o carregamento manual menos demorado iria necessitar da alocação de 3 pessoas e de 2 horas aproximadamente.

Em seguida, o método que auferir um custo inferior é o carregamento híbrido recorrendo ao adaptador *Load push-pull*. Para este caso, a alocação de pessoas prevê-se em duas, em média, e o carregamento mais demorado seria de aproximadamente 3 horas, sendo passível de ponderação para todas as espessuras.

Tempo de carregamento						
Espessura (mm)	Atual	A	B	C	D	E
1,8	0:40	11:01	0:40	0:40	2:13	2:43
2,0	0:40	9:56	0:40	0:40	2:07	2:35
2,5	0:40	7:57	0:40	0:40	1:54	2:18
2,8	0:40	6:09	0:40	0:40	1:24	1:46
3,8	0:40	4:38	0:40	0:40	1:18	1:37
4,8	0:40	3:43	0:40	0:40	1:14	1:14
5,8	0:40	3:18	0:40	0:40	0:57	1:14
7,8	0:40	2:38	0:40	0:40	0:55	1:10
9,8	0:40	2:06	0:40	0:40	0:53	0:53
A - Carregamento Manual						
B - Carregamento mecânico com empilhador						
C - Carregamento mecânico com adaptador <i>Load push-pull</i>						
D - Carregamento híbrido com recurso a empilhador						
E - Carregamento híbrido com recurso ao adaptador <i>Load push-pull</i>						

Figura 15 Tempos de carregamento para cada uma das espessuras e por tipologia de carregamento

Pela análise de dados, podemos concluir que o carregamento através de empilhador nunca será preferível relativamente ao carregamento com o adaptador. O carregamento manual é sempre mais demorado relativamente aos outros tipos de carregamento. O carregamento híbrido com recurso ao adaptador não é o método mais económico, mas também não se trata do método mais demorado.

Uma análise mais detalhada para cada uma das espessuras mostra que:

- Espessura 1,8 mm – carregamento manual não se considera possível de executar; carregamentos pelas outras metodologias são possíveis de executar sendo que o mais económico se trata do carregamento híbrido recorrendo ao adaptador. Para este carregamento, a taxa de ocupação seria de 65% com um custo associado previsto de 18,48 €/m³. O carregamento atual permite uma taxa de ocupação de 61%, com um custo associado de 21,43 €/m³. A duração do carregamento passaria de apenas 40 minutos para 2 horas e 40 minutos, aproximadamente. A ponderar a utilização do carregamento mecânico com adaptador, que permite uma redução de custos para 20,43 €/m³ e não se prevê um aumento no tempo de carregamento.
- Espessura 2 mm - carregamento manual não se considera possível de executar; carregamentos pelas outras metodologias são possíveis de executar sendo que o mais económico se trata do carregamento híbrido recorrendo ao adaptador. Para este a duração seria de 2 horas e 35 minutos com um custo associado de aproximadamente 17,35 €/m³, resultando numa taxa de ocupação de 71%. O estado atual representa um custo de 22,23 €/m³, uma taxa de ocupação de 59% e um tempo de carregamento de 40 minutos. De modo a manter o tempo de carga, ponderar o carregamento mecânico recorrendo ao adaptador, sendo que este resulta num custo de 18,07 €/m³ com uma taxa de ocupação de 65%.
- Espessura 2,5 mm – para este caso, é possível ponderar tanto o carregamento híbrido como o carregamento mecânico com recurso ao adaptador, sendo que é possível obter uma percentagem de ocupação de 78% e 72% com um custo de 15,45 €/m³ e 16,16€/m³, respetivamente. Como a diferença de custo é reduzida, seria necessário validar a mais valia uma vez que a diferença de tempo de carregamento é de 1 hora e 30 minutos, com o carregamento mecânico a ser o menos demorado. Relativamente à opção atual, ambas as abordagens trariam vantagens, uma vez que atualmente a taxa de ocupação é de 51% com um custo de 25,67 €/m³.
- Espessura 2,8 mm – situação semelhante ao revisto para referências de 2,5 mm, sendo necessário ponderar entre um ganho residual de custos e um tempo de carregamento superior em 1 hora, entre carregamento mecânico e híbrido recorrendo ao adaptador. A alteração poderia gerar uma redução de 4,67 €/m³. A taxa de ocupação passaria de 62% para 77%, neste caso.
- Espessura 3,8 mm – desconsiderando ainda o carregamento manual, para este caso começa a ser notória a diferença entre o carregamento híbrido e mecânico, ao contrário do que foi visto anteriormente. Prende-se com o facto de, a partir de 3 mm de espessura, não ser possível sobrepor unidades deitadas na produção, sendo que só é possível embalar unidades de pé na paleta. Desta forma, o carregamento híbrido recorrendo ao adaptador seria a opção mais económica, com uma duração prevista de aproximadamente 1 hora e 30 minutos. A taxa de ocupação passaria de 48% para 64%, e o custo passaria de 27,00 €/m³ para 18,59 €/m³.
- Espessura 4,8 mm – carregamento manual passa a ser realizável e prevê-se que seja o mais económico para este caso, com um custo associado de 17,71 €/m³. Trata-se ainda de um carregamento muito demorado, prevê-se um tempo de carregamento de 3 horas e meia e a colaboração de 3 funcionários. A alternativa seria o carregamento híbrido recorrendo ao adaptador, uma vez que este teria um tempo associado de 1 hora e 15 minutos e recurso a duas pessoas, com um custo associado previsto de 19,52 €/m³. Relativamente ao estado atual, ambas as opções são mais económicas, sendo que esta se cifra nos 26,71 €/m³, e a taxa de ocupação iria também aumentar de 49% para 69% ou 61%, caso a troca fosse efetuada para carregamento manual ou híbrido respetivamente.

- Espessura 5,8 mm – atualmente, este tipo de carregamento pressupõe um custo de 32,62 €/m³ e uma taxa de ocupação de apenas 40%. O carregamento manual tem uma duração aproximada de 3 horas, mesmo correspondendo ao carregamento mais económico com um custo de 16,54 €/m³ e uma taxa de ocupação de 74%. A alternativa seria o carregamento híbrido com empilhador, uma vez que o tempo de carregamento seria de aproximadamente 1 hora, ou seja, um terço. O custo para esta opção prevê-se que seja 20,25 €/m³, que correspondem a uma taxa de ocupação de 58%.
- Espessura 7,8 mm - atualmente, este tipo de carregamento pressupõe um custo de 32,91 €/m³ e uma taxa de ocupação de apenas 40%. O carregamento manual para esta espessura é agora de 2 horas e 30 minutos, tratando-se da opção mais económica. A taxa de ocupação seria de 77% e um custo de 15,52 €/m³. A alternativa seria o carregamento híbrido com recurso ao empilhador possui um custo de 20,99€/m³, com um tempo de carregamento de aproximadamente 1 hora e uma taxa de ocupação de 56%.
- Espessura 9,8 mm - - atualmente, este tipo de carregamento pressupõe um custo de 26,20 €/m³ e uma taxa de ocupação de apenas 50%. O carregamento manual para esta espessura é agora de 2 horas, tratando-se da opção mais económica. A taxa de ocupação seria de 74% e um custo de 16,07 €/m³. A alternativa seria o carregamento híbrido com recurso ao empilhador possui um custo de 19,99€/m³, com um tempo de carregamento de aproximadamente 50 minutos, muito próximo do tempo de carregamento mecânico, e uma taxa de ocupação de 59%.

É possível concluir com esta análise que o carregamento mecânico com recurso ao adaptador Load push-pull será o que oferece uma melhor relação entre tempo de carregamento e custo de carregamento por metro cúbico para referência com uma espessura inferior a 2,8 mm. Uma vez que é possível sobrepor unidades deitadas por cima das unidades de pé para estas referências, o resultado oferecido em termos de taxa de ocupação para carregamento mecânico é aceitável, bem como o tempo de carga.

Para unidades com uma espessura superior a 3 mm, surge a necessidade de incluir o carregamento híbrido, uma vez que estas não são sobrepostas na produção. Como se tratam de unidades maiores, a sua alocação segundo a reta definida também requer um período menor de tempo, pelo que esta opção demonstra obter melhores resultados na relação tempo de carregamento e custo por metro cúbico. De referir que o modelo de cálculo de tempo não inclui o fator peso das unidades, pelo que segundo esta aproximação, alocar unidades mais leves deveria demorar um tempo semelhante à alocação de unidades mais pesadas. Uma vez que esta premissa não se verifica na prática, o decisor deverá ter uma apreciação qualitativa aquando da tomada de decisão relativamente a este aspeto.

Para referências com espessura superior a 7,8mm o carregamento manual apresenta tempos mais reduzidos, pelo que poderá ser considerado, uma vez que se trata do carregamento mais económico e que permite o transporte de um maior volume em metros cúbicos de material.

De forma geral, o carregamento manual só será exequível para unidades de maiores dimensões. Como são necessárias transportar menos unidades para preencher o contentor, o tempo de carregamento reduz. Por outro lado, unidades de maiores dimensões podem colocar em risco a segurança dos colaboradores aquando o transporte manual. Esta questão deveria ser validada. O carregamento mecânico é adequado a unidades de pequenas dimensões. Para carregamento destas unidades, a sobreposição e embalagem é possível realizar na produção. Desta forma, não há um grande impacto no volume a transportar para carregamento mecânico e este garante um tempo de carregamento reduzido. Para unidades com dimensões intermédias, o carregamento híbrido é o método que oferece uma melhor relação entre volume a carregar e tempo de carregamento.

Placas

Uma vez que existe apenas um tipo de caixas utilizadas para o transporte para este cliente, o estudo foi realizado para esta geometria, independentemente da geometria das placas que seguem no seu interior. A palete utilizada no estudo foi a palete utilizada atualmente, a 1280 x 950 x 131 mm, uma vez que a alocação de caixas à palete utilizada para rolos apenas garante uma ocupação de caixas na base da palete de aproximadamente 69%, restringindo muito o número de caixas passível de ser alocado ao transporte sendo que o máximo seria de 217 unidades. A percentagem de ocupação na palete selecionada é de 92%, sendo que deste tipo de paletes apenas é possível alocar 21. O resultado final permite a alocação máxima de 8 caixas em altura, sendo que este valor foi alterado para 7, por restrições impostas pela produção. A Figura 16 representa a análise para o número máximo de caixas passível de ser alocado através de cada um dos métodos.

Para o caso das caixas, estas são atualmente alocadas pelo processo mecânico de empilhador, exatamente pelas condições calculadas sendo que o custo associado ao transporte destas unidades atualmente é de 18,79 €/m³. A opção mais económica passaria pela alocação manual, mas este processo iria provocar um aumento no tempo de carregamento como de cerca de 1 hora relativamente aos outros processos. Uma opção que poderia ser considerada, que promove uma boa relação entre metros cúbicos transportados e tempo de carregamento é a opção de carregamento híbrido recorrendo ao sistema *Load push-pull*, seria necessário alocar uma caixa manualmente por cima de todas as paletes, o tempo de carregamento iria acrescer 4 minutos ao carregamento mecânico e o custo por metro cúbico seria de 15,64 €/m³, uma redução relativamente ao estado atual. Através da troca para o novo método, assumindo que apenas são transportadas caixas, os ganhos estimados seriam de 3,15 €/m³ de material transportado.

	Manual	Empilhador	Load push-pull	Híbrido palete	Híbrido Load push-pull
Nº de unidades manual	348	0	0	21	21
Nº de unidades mecânico	0	294	294	294	294
Custo de transporte	832,00 €	832,00 €	832,00 €	832,00 €	832,00 €
Tempo (minutos)	87	22	22	27	26
Tempo (horas)	1:26	0:22	0:22	0:26	0:26
Custo de mão-de-obra	25,55 €	2,20 €	2,19 €	5,20 €	5,18 €
Custo paralização	- €	- €	- €	- €	- €
Custo de paletes/folhas	- €	119,04 €	15,50 €	119,04 €	15,50 €
Custos	857,55 €	953,24 €	849,69 €	956,24 €	852,68 €
Custo unitário	2,46 €	3,24 €	2,89 €	3,04 €	2,71 €
			Total	315	315
Custo por metro cúbico	14,26 €	18,76 €	16,73 €	17,57 €	15,66 €

Figura 16 Resultado do sistema de apoio à decisão utilizado para alocar caixas transportadas para o cliente A

4.5.2. Alocação da palete ao contentor

Para este cliente obtemos como resultado final a utilização de apenas dois tipos de paletes, sendo que uma delas se encontra alocada a placas e a outra a rolos. Para estes dois casos, utilizou-se o algoritmo de alocação de paletes ao contentor. Este, como referido anteriormente, pressupõe que não se misturem vários tipos de paletes. Para cada uma das combinações possíveis procurou-se observar a possibilidade de colocar mais paletes para além das calculadas.

Esta normalização foi realizada de modo a concluir o processo de carga para este cliente, sendo que este foi revisto desde o início na produção, pela embalagem, até ao processo de alocação das paletes ou folhas ao contentor.

4.5.3. Resultados

Para todos os casos, foi possível obter uma redução nos custos por metro cúbico para o transporte de rolos e placas, pela adequação da tipologia de carregamento utilizada e pela definição do número máximo de unidades a carregar. A normalização do processo obtida foi:

- Carregamento mecânico recorrendo ao adaptador Load push-pull para rolos com uma espessura inferior a 3 mm;
- Carregamento híbrido recorrendo ao adaptador Load push-pull para rolos com uma espessura entre 3 mm e 7 mm;
- Carregamento manual para rolos com uma espessura superior a 7mm;
- Carregamento híbrido recorrendo ao adaptador Load push-pull para caixas com dimensões 915 x 610 x 150 mm.

5 Conclusões e perspetivas de trabalhos futuros

Com este trabalho, foi possível concluir que o dimensionamento de carga em contentor deve ser realizado do ponto de vista do aumento do número de unidades a alocar, pela otimização da carga, tendo em conta os limites práticos que resultam desta otimização. Foi possível concluir que a alocação de um maior número de unidades, dadas as restrições impostas pelas embalagens requeridas para realizar o transporte mecânico para o interior do transporte, devem ser realizados manualmente. A alocação manual de unidades requer uma maior alocação de recursos, uma vez que não pode ser realizada por apenas um colaborador, e em 100% dos casos possui um tempo de carregamento mais elevado. Desta forma, é possível concluir que os custos marginais associados ao carregamento não devem ser o único fator a ter em consideração, é necessário ter em consideração também o número de cargas a realizar por dia, o número de colaboradores presentes na empresa e a fadiga que resulta deste tipo de carregamento. Dos métodos validados, foi possível concluir que, para carregamentos mecânicos, o uso do adaptador *Load push-pull* garante sempre um melhor resultado relativamente ao empilhador. Quanto a este método, seria necessário realizar um estudo prévio do investimento necessário e dos ganhos resultantes da sua inclusão. Seria também importante perceber que impacto este novo método de transporte poderia ter na produção, uma vez que pressupõe a colocação de uma folha entre as unidades e a paleta, para o caso do transporte das unidades do armazém para a produção continuar a ser realizado via empilhador. Seria também necessário perceber se este novo método iria trazer instabilidade no transporte dentro do armazém e se o tempo de carregamento também iria sofrer um impacto devido à sua utilização. Estes dados não foram possíveis validar uma vez que aquando do término do projeto o departamento de compras se encontrava em fase de avaliação destas questões.

O método que resulta num melhor compromisso entre tempo de carregamento e número de unidades a carregar é o método híbrido recorrendo ao adaptador. Este método corresponde à alocação de carga parcialmente via mecânica, parcialmente via manual. Se considerarmos como fator crítico o bem-estar dos colaboradores, passaríamos a obter um carregamento mecânico apenas com este dispositivo. Para minimizar estes danos, seria necessário avaliar de que forma esta alocação poderia ser realizada corretamente, de modo a garantir o bem-estar dos colaboradores, recorrendo a sessões de ginástica laboral se necessário.

O carregamento manual, prevê-se como uma alternativa económica, uma vez que permite uma maior taxa de ocupação do transporte, mas também é a alternativa mais demorada, sendo que por este método se incorre em custos de paralisação em alguns dos casos vistos. Este método obteve melhores resultados para geometrias de maiores dimensões, uma vez que requerem a alocação de um menor número de unidades o que pressupõe um tempo menor de acordo com o modelo criado. Esta questão deveria ser validada, uma vez que na prática se verifica que o peso é uma variável que impacta no tempo de carregamento.

Ainda relativamente à medição de tempos, uma medição mais correta seria útil para o departamento de SAC realizar um melhor escalonamento de cargas, podendo assim dividir as que requerem um maior esforço físico ao longo do tempo e dos turnos.

Um sistema de suporte à decisão integrado poderia servir como meio para validar qual o número ótimo a alocar de vários tipos de referências diferentes, ao contrário do modelo sugerido neste projeto. Esta otimização iria estar associado um desenho 3D que deveria ser partilhado com os colaboradores como guia de carregamento. A este carregamento, estaria associado um tempo de carregamento que poderia incluir as variáveis explicativas do modelo como o número de geometrias a alocar, o peso das unidades a transportar, o momento do dia no qual se realiza a carga, a idade do colaborador, o seu estado de saúde. O sistema deveria ter acesso à capacidade do APA, através da recolha de dados quanto ao número de colaboradores e cais de carga disponíveis. A partir deste ponto o algoritmo presente neste sistema deveria ser capaz de responder se é possível realizar a carga no dia pretendido ou se o armazém não terá capacidade

de resposta, quantas pessoas vão ser necessárias alocar e que horas do dia estão disponíveis para a sua realização. Este sistema deveria ser capaz de propor alterações a datas de outros carregamentos de modo a absorver atrasos e a tornar o escalonamento o mais fácil de realizar possível. Este sistema poderia ainda comunicar com o departamento de Engenharia, sendo este o que define a embalagem, e realização a otimização de carga para embalagens que podem ser escolhidas pela empresa ou pelo cliente. Esta informação estaria diretamente disponível para a posterior alocação em 3D no transporte a utilizar. A seleção do transporte também poderia ser um âmbito no qual este sistema tivesse impacto. Recorrendo a uma base de dados de transportes e dimensões e custos para os diversos destinos, este sistema, sabendo que unidades devem ser carregadas e quais os transportes disponíveis, poderia ainda ter um componente de seleção do transporte. Sendo um sistema integrado e disponível a vários departamentos, a informação estaria sempre *online* e a probabilidade de ocorrerem erros por falta da sua passagem seria muito reduzida. Ainda este sistema poderia estar associado à recolha de dados vindos de cartões magnéticos que deveriam ser validados pelos camionistas que fazem a recolha do material e pelos operadores quando realizam o seu carregamento. Assim, estes poderiam estar constantemente a ser utilizados para gerarem melhores previsões de tempo futuro, a informação passaria em tempo real e poderiam ser identificados padrões que estivessem associados a atrasos nos carregamentos.

Concluindo, o modelo criado tem como finalidade a comparação entre vários métodos de carregamento tendo em consideração os fatores custo por metro cúbico carregado e tempo de carregamento. Este foi utilizado para o dimensionamento e normalização de carga para um cliente da empresa, sendo que este estudo poderá ser alargado para outros clientes em trabalhos futuros. O resultado final foi a redução do custo por metro cúbico no transporte de várias referências para este cliente, sendo que não foi possível definir apenas um método para todas as referências. A metodologia utilizada pressupõe ainda que apenas é transportada uma referência de cada vez, sendo que esta aproximação nem sempre se verifica na realidade.

Referências

- Alvarez-Valdes, Ramón, Maria Antónia Carravilla, and José Fernando Oliveira. 2018. *Cutting and Packing. Handbook of Heuristics*. Vol. 2–2. https://doi.org/10.1007/978-3-319-07124-4_43.
- Bischoff, E. E., and M. S W Ratcliff. 1995. “Issues in the Development of Approaches to Container Loading.” *Omega*. [https://doi.org/10.1016/0305-0483\(95\)00015-G](https://doi.org/10.1016/0305-0483(95)00015-G).
- Bortfeldt, Andreas, and Gerhard Wäscher. 2013. “Constraints in Container Loading-A State-of-the-Art Review.” *European Journal of Operational Research*. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2012.12.006>.
- Campos Guimarães, Rui, and José A. Sarsfield Cabral. 1997. *Estatística*.
- Frank, Robert H. 2006. *Microeconomia e Comportamento*.
- Fuellerer, Guenther, Karl F. Doerner, Richard F. Hartl, and Manuel Iori. 2010. “Metaheuristics for Vehicle Routing Problems with Three-Dimensional Loading Constraints.” *European Journal of Operational Research* 201 (3): 751–59. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.03.046>.
- Gonzalez, Rodrigo, and Carlos A. Catania. 2019. “Time-Delayed Multiple Linear Regression for de-Noising MEMS Inertial Sensors.” *Computers and Electrical Engineering* 76: 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2019.02.023>.
- José, Bruno, and Barbosa Ferreira. 2014. “Otimização Do Carregamento de Cilindros Em Contentores.”
- Paiva, Antonio Cláudio Reis de. 2016. “As Atividades Bancária e Empresarial e o Desenvolvimento Sustentável.” *Revista de Administração* 45 (3): 297–304. [https://doi.org/10.1016/s0080-2107\(16\)30482-4](https://doi.org/10.1016/s0080-2107(16)30482-4).
- Ramos, António G., Elsa Silva, and José F. Oliveira. 2018. “A New Load Balance Methodology for Container Loading Problem in Road Transportation.” *European Journal of Operational Research*. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.10.050>.
- Rushton, ALan, John Oxley, and Phil Croucher. 2000. *The Handbook of Logistics and Distribution Management*.
- Waters, Thomas, Andrea Baptiste, Manon Short, Lori Plante-Mallon, and Audrey Nelson. 2011. “AORN Ergonomic Tool 6: Lifting and Carrying Supplies and Equipment in the Perioperative Setting.” *AORN Journal* 94 (2): 173–79. <https://doi.org/10.1016/j.aorn.2010.09.033>.
- Zhao, Xiaozhou, Julia A. Bennell, Tolga Bektaş, and Kath Dowsland. 2016. “A Comparative Review of 3D Container Loading Algorithms.” *International Transactions in Operational Research* 23 (1–2): 287–320. <https://doi.org/10.1111/itor.12094>.
- Alan Rushton, John Oxley, Phil Croucher. 2000. “The handbook of logistics and distribution management”
- Rui Campos Guimarães e José A. Sarsfield Cabral. 1997. “Estatística”
- Robert H. Frank. 2006. “Microeconomia e comportamento”

ANEXO A: Tabela com tempos de carregamento

Tabela 2 Tempos de carregamento (Y) em minutos, de acordo com o número de unidades carregadas de forma manual (X1) e o número de paletes carregadas (X2)

Y - Tempo de carregamento (minutos)	X1 - Número de unidades (manual)	X2 - Número de paletes (mecânico)
40	0	39
180	900	0
100	0	48
40	0	48
100	456	0
155	456	0
70	0	34
30	0	36
50	0	31
20	0	33
35	0	52
15	0	2
5	0	1
20	0	5
20	0	1
20	0	2
70	0	34
40	0	4
10	0	7
40	0	13
20	0	33
10	0	2
60	40	28
40	20	10
110	435	0
45	50	0
60	280	0
50	50	0
75	456	0
90	456	0
25	0	21
30	0	48
10	0	1
85	140	0
135	520	0
30	0	22
10	0	3
30	0	31
15	0	2
75	254	0
10	0	3
25	0	11
30	40	0
5	0	2
30	0	19
30	0	15
55	0	31
40	0	28

Tabela 3 Tabela ANOVA resultante da análise de regressão linear múltipla recorrendo ao suplemento de *Analysis ToolPack* do *Excel*

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,8902
Quadrado de R	0,7925
Quadrado de R ajustado	0,7833
Erro-padrão	18,2826
Observações	48,0000

ANOVA					
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significância</i>
Regressão	2,0000	57456,5246	28728,2623	85,9476	0,0000
Residual	45,0000	15041,3921	334,2532		
Total	47,0000	72497,9167			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro-padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor P</i>	<i>95% inferior</i>	<i>95% superior</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Intercetar	19,7355	4,2973	4,5926	0,0000	11,0803	28,3907	11,0803	28,3907
Variável X 1	0,1926	0,0148	12,9884	0,0000	0,1628	0,2225	0,1628	0,2225
Variável X 2	0,6653	0,1751	3,7984	0,0004	0,3125	1,0180	0,3125	1,0180

ANEXO B: Embalagens utilizadas pela empresa

Tabela 4 Tipos de palete utilizado pela empresa e respetivas dimensões em milímetros

Tipo de palete	Comprimento	Largura	Altura
Paleta Genérica	1280	980	131
Paleta Genérica Cs	1280	980	131
PALETE HT 1000x1000x131mm	1000	1000	131
PALETE HT 1000x1000x75	1000	1000	75
PALETE HT 1080x410x131	1080	410	131
PALETE HT 1100x1100x131	1100	1100	131
PALETE HT 1150x760mm	1150	760	131
PALETE HT 1200x1000	1200	1000	131
PALETE HT 1200x1200	1200	1200	131
PALETE HT 1200x800	1200	800	131
PALETE HT 1200x800 "EURO"	1200	800	131
PALETE HT 1250x840	1250	840	131
PALETE HT 1280x770x131 mm	1280	770	131
PALETE HT 1280x950x131mm	1280	950	131
PALETE HT 1287x1050x75 mm	1287	1050	75
PALETE HT 1500x1000	1500	1000	131
PALETE HT 1500x1200	1500	1200	131
PALETE HT 1500x800x131 mm	1500	800	131
PALETE HT 1520x760	1520	760	131
PALETE HT 1830x1225	1830	1225	131
PALETE HT 2000x1000	2000	1000	131
PALETE HT 2040x1240	2040	1240	131
PALETE HT 2250x940x131mm	2250	940	131
PALETE HT 2520x1230x140	2520	1230	140
PALETE HT 3000x1270x140	3000	1270	140
PALETE HT 3050x915	3050	915	131
PALETE HT 3360x1250x131	3360	1250	131
PALETE HT 600x400	600	400	131
PALETE HT 660x410x131	660	410	131
PALETE HT 835x625	835	625	131
PALETE HT 900x900x131	900	900	131
PALETE HT 900x900x75	900	900	75
PALETE HT 935x635x131	935	635	131
PALETE HT 935x635x75	935	635	75
PALETE IKEA "EURO" 1200x800	1200	800	131
PALETE IKEA "MEIA" 600x800	600	800	131
PALETES 1285x 680x140	1285	680	140

ANEXO C: Produtos comercializados para o cliente A

Tabela 5 Tabela resumo das condições de transporte dos rolos para o cliente A. Para todas as referências o método utilizado é o transporte com recurso ao empilhador.

Espessura (mm)	Número de unidades por palete	Dimensões da paleta (mm)	Total de unidades no contentor
1,8	80	1150 x 760 x 131	2480
2,0	70	1151 x 760 x 131	2170
2,5	48	1150 x 760 x 131	1488
2,8	52	1150 x 760 x 131	1612
3,8	30	1150 x 760 x 131	930
4,8	24	1151 x 760 x 131	744
5,8	24	1280 x 950 x 131	504
7,8	12	1150 x 760 x 131	372
9,8	12	1150 x 760 x 131	372

ANEXO D: Análise de custo por unidade para cada tipologia de carregamento para rolos com espessura de 2mm

Tabela 6 Custos para carregamento manual para referências com 2mm de espessura

Nº unidade	Metro cúbico	Minutos	Manual					
			CV1	CV2	CVM	CF	CFM	CTM
100	2	39	- €	11,49 €	5,74 €	832,00 €	416,00 €	421,74 €
200	4	58	- €	17,16 €	4,29 €	832,00 €	208,00 €	212,29 €
300	6	78	- €	22,83 €	3,80 €	832,00 €	138,67 €	142,47 €
400	8	97	- €	28,50 €	3,56 €	832,00 €	104,00 €	107,56 €
500	10	116	- €	34,17 €	3,42 €	832,00 €	83,20 €	86,62 €
600	12	135	- €	39,85 €	3,32 €	832,00 €	69,33 €	72,65 €
700	14	155	- €	45,52 €	3,25 €	832,00 €	59,43 €	62,68 €
800	16	174	- €	51,19 €	3,20 €	832,00 €	52,00 €	55,20 €
900	18	193	- €	56,86 €	3,16 €	832,00 €	46,22 €	49,38 €
1000	20	212	- €	62,53 €	3,13 €	832,00 €	41,60 €	44,73 €
1100	22	232	- €	68,21 €	3,10 €	832,00 €	37,82 €	40,92 €
1200	24	251	30,00 €	73,88 €	4,33 €	832,00 €	34,67 €	38,99 €
1300	26	270	30,00 €	79,55 €	4,21 €	832,00 €	32,00 €	36,21 €
1400	28	289	30,00 €	85,22 €	4,12 €	832,00 €	29,71 €	33,83 €
1500	30	309	60,00 €	90,89 €	5,03 €	832,00 €	27,73 €	32,76 €
1600	32	328	60,00 €	96,57 €	4,89 €	832,00 €	26,00 €	30,89 €
1700	34	347	60,00 €	102,24 €	4,77 €	832,00 €	24,47 €	29,24 €
1800	36	366	90,00 €	107,91 €	5,50 €	832,00 €	23,11 €	28,61 €
1900	38	386	90,00 €	113,58 €	5,36 €	832,00 €	21,89 €	27,25 €
2000	40	405	90,00 €	119,25 €	5,23 €	832,00 €	20,80 €	26,03 €
2100	42	424	120,00 €	124,93 €	5,83 €	832,00 €	19,81 €	25,64 €
2200	44	443	120,00 €	130,60 €	5,70 €	832,00 €	18,91 €	24,60 €
2300	46	463	120,00 €	136,27 €	5,57 €	832,00 €	18,09 €	23,66 €
2400	48	482	150,00 €	141,94 €	6,08 €	832,00 €	17,33 €	23,42 €
2500	50	501	150,00 €	147,62 €	5,95 €	832,00 €	16,64 €	22,59 €
2600	52	521	150,00 €	153,29 €	5,83 €	832,00 €	16,00 €	21,83 €
2700	54	540	150,00 €	158,96 €	5,72 €	832,00 €	15,41 €	21,13 €
2800	56	559	180,00 €	164,63 €	6,15 €	832,00 €	14,86 €	21,01 €
2900	58	578	180,00 €	170,30 €	6,04 €	832,00 €	14,34 €	20,38 €
3000	60	598	180,00 €	175,98 €	5,93 €	832,00 €	13,87 €	19,80 €

Tabela 7 Custos para carregamento mecânico recorrendo aos garfos do empilhador para referências com 2mm de espessura

Mecânico recorrendo a um empilhador										
Vº paletes	Nº unidades	Metro cúbico	Minutos	CV1	CV2	CV3	CVM	CF	CFM	CMT
1	72	1,44	20	- €	2,00 €	3,84 €	4,06 €	832,00 €	577,78 €	581,84 €
2	144	2,88	21	- €	2,07 €	7,68 €	3,38 €	832,00 €	288,89 €	292,27 €
3	216	4,32	22	- €	2,13 €	11,52 €	3,16 €	832,00 €	192,59 €	195,75 €
4	288	5,76	22	- €	2,20 €	15,36 €	3,05 €	832,00 €	144,44 €	147,49 €
5	360	7,2	23	- €	2,26 €	19,20 €	2,98 €	832,00 €	115,56 €	118,54 €
6	432	8,64	24	- €	2,33 €	23,04 €	2,94 €	832,00 €	96,30 €	99,23 €
7	504	10,08	24	- €	2,39 €	26,88 €	2,90 €	832,00 €	82,54 €	85,44 €
8	576	11,52	25	- €	2,46 €	30,72 €	2,88 €	832,00 €	72,22 €	75,10 €
9	648	12,96	26	- €	2,53 €	34,56 €	2,86 €	832,00 €	64,20 €	67,06 €
10	720	14,4	26	- €	2,59 €	38,40 €	2,85 €	832,00 €	57,78 €	60,62 €
11	792	15,84	27	- €	2,66 €	42,24 €	2,83 €	832,00 €	52,53 €	55,36 €
12	864	17,28	28	- €	2,72 €	46,08 €	2,82 €	832,00 €	48,15 €	50,97 €
13	936	18,72	28	- €	2,79 €	49,92 €	2,82 €	832,00 €	44,44 €	47,26 €
14	1008	20,16	29	- €	2,85 €	53,76 €	2,81 €	832,00 €	41,27 €	44,08 €
15	1080	21,6	30	- €	2,92 €	57,60 €	2,80 €	832,00 €	38,52 €	41,32 €
16	1152	23,04	30	- €	2,98 €	61,44 €	2,80 €	832,00 €	36,11 €	38,91 €
17	1224	24,48	31	- €	3,05 €	65,28 €	2,79 €	832,00 €	33,99 €	36,78 €
18	1296	25,92	32	- €	3,11 €	69,12 €	2,79 €	832,00 €	32,10 €	34,89 €
19	1368	27,36	32	- €	3,18 €	72,96 €	2,78 €	832,00 €	30,41 €	33,19 €
20	1440	28,8	33	- €	3,24 €	76,80 €	2,78 €	832,00 €	28,89 €	31,67 €
21	1512	30,24	34	- €	3,31 €	80,64 €	2,78 €	832,00 €	27,51 €	30,29 €
22	1584	31,68	34	- €	3,37 €	84,48 €	2,77 €	832,00 €	26,26 €	29,04 €
23	1656	33,12	35	- €	3,44 €	88,32 €	2,77 €	832,00 €	25,12 €	27,89 €
24	1728	34,56	36	- €	3,51 €	92,16 €	2,77 €	832,00 €	24,07 €	26,84 €
25	1800	36	36	- €	3,57 €	96,00 €	2,77 €	832,00 €	23,11 €	25,88 €
26	1872	37,44	37	- €	3,64 €	99,84 €	2,76 €	832,00 €	22,22 €	24,99 €
27	1944	38,88	38	- €	3,70 €	103,68 €	2,76 €	832,00 €	21,40 €	24,16 €
28	2016	40,32	38	- €	3,77 €	107,52 €	2,76 €	832,00 €	20,63 €	23,40 €
29	2088	41,76	39	- €	3,83 €	111,36 €	2,76 €	832,00 €	19,92 €	22,68 €
30	2160	43,2	40	- €	3,90 €	115,20 €	2,76 €	832,00 €	19,26 €	22,02 €
31	2232	44,64	40	- €	3,96 €	119,04 €	2,76 €	832,00 €	18,64 €	21,39 €

Tabela 8 Custos para carregamento mecânico recorrendo ao adaptador Load push-pull para referências com 2mm de espessura

Mecânico recorrendo a Load Push-Pull										
Nº folh	Nº unid	Metro cúbico	Minutos	CV1	CV2	CV3	CVM	CF	CFM	CMT
1	76	1,52	20	- €	2,00 €	0,50 €	1,65 €	832,00 €	547,37 €	549,02 €
2	152	3,04	21	- €	2,07 €	1,00 €	1,01 €	832,00 €	273,68 €	274,69 €
3	228	4,56	22	- €	2,13 €	1,50 €	0,80 €	832,00 €	182,46 €	183,25 €
4	304	6,08	22	- €	2,20 €	2,00 €	0,69 €	832,00 €	136,84 €	137,53 €
5	380	7,60	23	- €	2,26 €	2,50 €	0,63 €	832,00 €	109,47 €	110,10 €
6	456	9,12	24	- €	2,33 €	3,00 €	0,58 €	832,00 €	91,23 €	91,81 €
7	532	10,64	24	- €	2,39 €	3,50 €	0,55 €	832,00 €	78,20 €	78,75 €
8	608	12,16	25	- €	2,46 €	4,00 €	0,53 €	832,00 €	68,42 €	68,95 €
9	684	13,68	26	- €	2,53 €	4,50 €	0,51 €	832,00 €	60,82 €	61,33 €
10	760	15,20	26	- €	2,59 €	5,00 €	0,50 €	832,00 €	54,74 €	55,24 €
11	836	16,72	27	- €	2,66 €	5,50 €	0,49 €	832,00 €	49,76 €	50,25 €
12	912	18,24	28	- €	2,72 €	6,00 €	0,48 €	832,00 €	45,61 €	46,09 €
13	988	19,76	28	- €	2,79 €	6,50 €	0,47 €	832,00 €	42,11 €	42,58 €
14	1064	21,28	29	- €	2,85 €	7,00 €	0,46 €	832,00 €	39,10 €	39,56 €
15	1140	22,80	30	- €	2,92 €	7,50 €	0,46 €	832,00 €	36,49 €	36,95 €
16	1216	24,32	30	- €	2,98 €	8,00 €	0,45 €	832,00 €	34,21 €	34,66 €
17	1292	25,84	31	- €	3,05 €	8,50 €	0,45 €	832,00 €	32,20 €	32,65 €
18	1368	27,36	32	- €	3,11 €	9,00 €	0,44 €	832,00 €	30,41 €	30,85 €
19	1444	28,88	32	- €	3,18 €	9,50 €	0,44 €	832,00 €	28,81 €	29,25 €
20	1520	30,40	33	- €	3,24 €	10,00 €	0,44 €	832,00 €	27,37 €	27,80 €
21	1596	31,92	34	- €	3,31 €	10,50 €	0,43 €	832,00 €	26,07 €	26,50 €
22	1672	33,44	34	- €	3,37 €	11,00 €	0,43 €	832,00 €	24,88 €	25,31 €
23	1748	34,96	35	- €	3,44 €	11,50 €	0,43 €	832,00 €	23,80 €	24,23 €
24	1824	36,48	36	- €	3,51 €	12,00 €	0,43 €	832,00 €	22,81 €	23,23 €
25	1900	38,00	36	- €	3,57 €	12,50 €	0,42 €	832,00 €	21,89 €	22,32 €
26	1976	39,52	37	- €	3,64 €	13,00 €	0,42 €	832,00 €	21,05 €	21,47 €
27	2052	41,04	38	- €	3,70 €	13,50 €	0,42 €	832,00 €	20,27 €	20,69 €
28	2128	42,56	38	- €	3,77 €	14,00 €	0,42 €	832,00 €	19,55 €	19,97 €
29	2204	44,08	39	- €	3,83 €	14,50 €	0,42 €	832,00 €	18,87 €	19,29 €
30	2280	45,60	40	- €	3,90 €	15,00 €	0,41 €	832,00 €	18,25 €	18,66 €
31	2356	47,12	40	- €	3,96 €	15,50 €	0,41 €	832,00 €	17,66 €	18,07 €

Tabela 9 Custos para carregamento híbrido, parcialmente carregado recorrendo aos garfos do empilhador e parcialmente manual, para referências com 2mm de espessura

Carregamento híbrido: mecânico com empilhador e manual												
Nº paletes	Metro cúbico	Nº Total	Nº mecânico	Nº manual	Minutos	CV1	CV2	CV3	CVM	CF	CFM	CMT
1	1,58	78,90	64	14,90	23,28	- €	4,57 €	3,84 €	2,90 €	832,00 €	527,23 €	530,12 €
2	3,16	157,81	128	29,81	26,81	- €	5,26 €	7,68 €	1,67 €	832,00 €	263,61 €	265,28 €
3	4,73	236,71	192	44,71	30,35	- €	5,96 €	11,52 €	1,26 €	832,00 €	175,74 €	177,00 €
4	6,31	315,61	256	59,61	33,88	- €	6,65 €	15,36 €	1,05 €	832,00 €	131,81 €	132,86 €
5	7,89	394,52	320	74,52	37,42	- €	7,35 €	19,20 €	0,93 €	832,00 €	105,45 €	106,38 €
6	9,47	473,42	384	89,42	40,95	- €	8,04 €	23,04 €	0,85 €	832,00 €	87,87 €	88,72 €
7	11,05	552,32	448	104,32	44,49	- €	8,73 €	26,88 €	0,79 €	832,00 €	75,32 €	76,11 €
8	12,62	631,23	512	119,23	48,03	- €	9,43 €	30,72 €	0,75 €	832,00 €	65,90 €	66,65 €
9	14,20	710,13	576	134,13	51,56	- €	10,12 €	34,56 €	0,71 €	832,00 €	58,58 €	59,29 €
10	15,78	789,03	640	149,03	55,10	- €	10,82 €	38,40 €	0,69 €	832,00 €	52,72 €	53,41 €
11	17,36	867,94	704	163,94	58,63	- €	11,51 €	42,24 €	0,66 €	832,00 €	47,93 €	48,59 €
12	18,94	946,84	768	178,84	62,17	- €	12,21 €	46,08 €	0,64 €	832,00 €	43,94 €	44,58 €
13	20,51	1025,74	832	193,74	65,70	- €	12,90 €	49,92 €	0,63 €	832,00 €	40,56 €	41,18 €
14	22,09	1104,65	896	208,65	69,24	- €	13,59 €	53,76 €	0,62 €	832,00 €	37,66 €	38,27 €
15	23,67	1183,55	960	223,55	72,77	- €	14,29 €	57,60 €	0,60 €	832,00 €	35,15 €	35,75 €
16	25,25	1262,45	1024	238,45	76,31	- €	14,98 €	61,44 €	0,59 €	832,00 €	32,95 €	33,55 €
17	26,83	1341,35	1088	253,35	79,85	- €	15,68 €	65,28 €	0,58 €	832,00 €	31,01 €	31,60 €
18	28,41	1420,26	1152	268,26	83,38	- €	16,37 €	69,12 €	0,58 €	832,00 €	29,29 €	29,87 €
19	29,98	1499,16	1216	283,16	86,92	- €	17,06 €	72,96 €	0,57 €	832,00 €	27,75 €	28,32 €
20	31,56	1578,06	1280	298,06	90,45	- €	17,76 €	76,80 €	0,56 €	832,00 €	26,36 €	26,92 €
21	33,14	1656,97	1344	312,97	93,99	- €	18,45 €	80,64 €	0,56 €	832,00 €	25,11 €	25,66 €
22	34,72	1735,87	1408	327,87	97,52	- €	19,15 €	84,48 €	0,55 €	832,00 €	23,96 €	24,52 €
23	36,30	1814,77	1472	342,77	101,06	- €	19,84 €	88,32 €	0,55 €	832,00 €	22,92 €	23,47 €
24	37,87	1893,68	1536	357,68	104,60	- €	20,54 €	92,16 €	0,54 €	832,00 €	21,97 €	22,51 €
25	39,45	1972,58	1600	372,58	108,13	- €	21,23 €	96,00 €	0,54 €	832,00 €	21,09 €	21,63 €
26	41,03	2051,48	1664	387,48	111,67	- €	21,92 €	99,84 €	0,53 €	832,00 €	20,28 €	20,81 €
27	42,61	2130,39	1728	402,39	115,20	- €	22,62 €	103,68 €	0,53 €	832,00 €	19,53 €	20,06 €
28	44,19	2209,29	1792	417,29	118,74	- €	23,31 €	107,52 €	0,53 €	832,00 €	18,83 €	19,36 €
29	45,76	2288,19	1856	432,19	122,27	- €	24,01 €	111,36 €	0,52 €	832,00 €	18,18 €	18,70 €
30	47,34	2367,10	1920	447,10	125,81	- €	24,70 €	115,20 €	0,52 €	832,00 €	17,57 €	18,10 €
31	48,92	2446,00	1984	462,00	129,35	- €	25,39 €	119,04 €	2,95 €	832,00 €	17,01 €	19,96 €

Tabela 10 Custos para carregamento híbrido, parcialmente carregado recorrendo ao adaptador Load push-pull e parcialmente manual, para referências com 2mm de espessura

Carregamento híbrido: mecânico com adaptador Load push-pull e manual												
Nº folhas	M³	Nº Total	Nº mecânico	Nº manual	Minutos	CV1	CV2	CV3	CVM	CF	CFM	CMT
1	1,68	83,87	64	19,87	24,23	- €	4,76 €	0,50 €	3,13 €	832,00 €	496,00 €	499,13 €
2	3,35	167,74	128	39,74	36,38	- €	7,14 €	1,00 €	2,43 €	832,00 €	248,00 €	250,43 €
3	5,03	251,61	192	59,61	44,70	- €	8,78 €	1,50 €	2,04 €	832,00 €	165,33 €	167,38 €
4	6,71	335,48	256	79,48	53,02	- €	10,41 €	2,00 €	1,85 €	832,00 €	124,00 €	125,85 €
5	8,39	419,35	320	99,35	61,34	- €	12,04 €	2,50 €	1,73 €	832,00 €	99,20 €	100,93 €
6	10,06	503,23	384	119,23	69,66	- €	13,68 €	3,00 €	1,66 €	832,00 €	82,67 €	84,32 €
7	11,74	587,10	448	139,10	77,98	- €	15,31 €	3,50 €	1,60 €	832,00 €	70,86 €	72,46 €
8	13,42	670,97	512	158,97	86,30	- €	16,94 €	4,00 €	1,56 €	832,00 €	62,00 €	63,56 €
9	15,10	754,84	576	178,84	94,62	- €	18,58 €	4,50 €	1,53 €	832,00 €	55,11 €	56,64 €
10	16,77	838,71	640	198,71	102,94	- €	20,21 €	5,00 €	1,50 €	832,00 €	49,60 €	51,10 €
11	18,45	922,58	704	218,58	111,26	- €	21,84 €	5,50 €	1,48 €	832,00 €	45,09 €	46,57 €
12	20,13	1006,45	768	238,45	119,58	- €	23,48 €	6,00 €	1,46 €	832,00 €	41,33 €	42,80 €
13	21,81	1090,32	832	258,32	127,89	- €	25,11 €	6,50 €	1,45 €	832,00 €	38,15 €	39,60 €
14	23,48	1174,19	896	278,19	136,21	- €	26,74 €	7,00 €	1,44 €	832,00 €	35,43 €	36,87 €
15	25,16	1258,06	960	298,06	144,53	- €	28,38 €	7,50 €	1,43 €	832,00 €	33,07 €	34,49 €
16	26,84	1341,94	1024	317,94	152,85	- €	30,01 €	8,00 €	1,42 €	832,00 €	31,00 €	32,42 €
17	28,52	1425,81	1088	337,81	161,17	- €	31,64 €	8,50 €	1,41 €	832,00 €	29,18 €	30,58 €
18	30,19	1509,68	1152	357,68	169,49	- €	33,28 €	9,00 €	1,40 €	832,00 €	27,56 €	28,96 €
19	31,87	1593,55	1216	377,55	177,81	- €	34,91 €	9,50 €	1,39 €	832,00 €	26,11 €	27,50 €
20	33,55	1677,42	1280	397,42	186,13	- €	36,54 €	10,00 €	1,39 €	832,00 €	24,80 €	26,19 €
21	35,23	1761,29	1344	417,29	194,45	- €	38,18 €	10,50 €	1,38 €	832,00 €	23,62 €	25,00 €
22	36,90	1845,16	1408	437,16	202,77	- €	39,81 €	11,00 €	1,38 €	832,00 €	22,55 €	23,92 €
23	38,58	1929,03	1472	457,03	211,09	- €	41,44 €	11,50 €	1,37 €	832,00 €	21,57 €	22,94 €
24	40,26	2012,90	1536	476,90	219,41	- €	43,08 €	12,00 €	1,37 €	832,00 €	20,67 €	22,03 €
25	41,94	2096,77	1600	496,77	227,73	- €	44,71 €	12,50 €	1,36 €	832,00 €	19,84 €	21,20 €
26	43,61	2180,65	1664	516,65	236,05	- €	46,34 €	13,00 €	1,36 €	832,00 €	19,08 €	20,44 €
27	45,29	2264,52	1728	536,52	244,37	- €	47,98 €	13,50 €	1,36 €	832,00 €	18,37 €	19,73 €
28	46,97	2348,39	1792	556,39	252,69	- €	49,61 €	14,00 €	1,35 €	832,00 €	17,71 €	19,07 €
29	48,65	2432,26	1856	576,26	261,01	- €	51,24 €	14,50 €	1,35 €	832,00 €	17,10 €	18,45 €
30	50,32	2516,13	1920	596,13	269,33	- €	52,88 €	15,00 €	1,35 €	832,00 €	16,53 €	17,88 €
31	52,00	2600,00	1984	616,00	277,65	- €	54,51 €	15,50 €	1,35 €	832,00 €	16,00 €	17,35 €

ANEXO E: Análise global de custos para rolos

Custo por metro cúbico e número de unidades a transportar para as diferentes tipologias de carregamento												
Espessura (mm)	Nº unidades	Atual	Nº unidades	A	Nº unidades	B	Nº unidades	C	Nº unidades	D	Nº unidades	E
1,8	2480	21,43 €	3330	20,63 €	1 984	26,74 €	2 170	21,80 €	2 231	24,33 €	2 396	20,39 €
2,0	2170	22,23 €	2996	19,82 €	2 232	21,39 €	2 356	18,07 €	2 446	19,95 €	2 600	16,89 €
2,5	1488	25,67 €	2376	18,39 €	1 984	19,25 €	2 108	16,16 €	2 132	18,26 €	2 264	15,45 €
2,8	1612	21,16 €	2100	17,80 €	1 736	19,65 €	1 736	17,52 €	1 752	19,74 €	1 884	16,49 €
3,8	930	27,00 €	1341	18,52 €	930	27,02 €	930	24,09 €	1 128	22,55 €	1 227	18,59 €
4,8	744	26,71 €	1056	17,71 €	744	26,74 €	744	23,84 €	920	21,87 €	920	19,52 €
5,8	504	32,62 €	928	16,54 €	558	29,51 €	558	26,31 €	646	25,68 €	734	20,25 €
7,8	372	32,91 €	721	15,62 €	372	32,91 €	372	29,34 €	449	27,46 €	526	20,99 €
9,8	372	26,20 €	552	16,07 €	372	26,20 €	372	23,36 €	438	22,40 €	438	19,99 €
A - Carregamento Manual												
B - Carregamento mecânico com empilhador												
C - Carregamento mecânico com adaptador <i>Load push-pull</i>												
D - Carregamento híbrido com recurso a empilhador												
E - Carregamento híbrido com recurso ao adaptador <i>Load push-pull</i>												