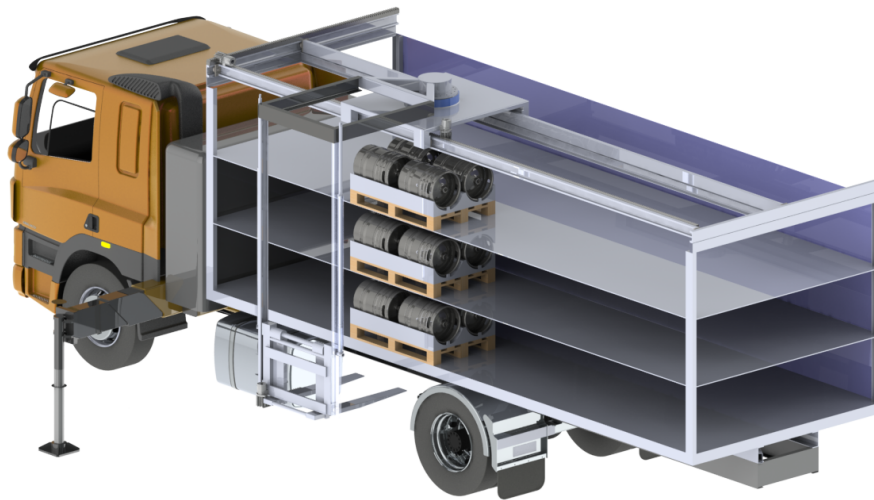




ISEL

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Área Departamental de Engenharia Mecânica



Veículo de Distribuição Inteligente

TIAGO MIGUEL DOS SANTOS MADUREIRA

Licenciado em Engenharia Mecânica

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Mecânica: Manutenção e Produção

Orientadores:

Doutor João Manuel Ferreira Calado

Doutor Fernando Paulo Neves da Fonseca Cardoso Carreira

Licenciado João Davide Francisco Sabino

Júri:

Presidente: Doutor Silvério João Crespo Marques

Vogais: Doutor Carlos Baptista Carreira

Doutor Fernando Paulo Neves da Fonseca Cardoso Carreira

Dezembro de 2018

PÁGINA INTENCIONALMENTE DEIXADA EM BRANCO



ISEL

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Área Departamental de Engenharia Mecânica

Veículo de Distribuição Inteligente

TIAGO MIGUEL DOS SANTOS MADUREIRA

Licenciado em Engenharia Mecânica

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Mecânica: Manutenção e Produção

Orientadores:

Doutor João Manuel Ferreira Calado

Doutor Fernando Paulo Neves da Fonseca Cardoso Carreira

Licenciado João Davide Francisco Sabino

Júri:

Presidente: Doutor Silvério João Crespo Marques

Vogais: Doutor Carlos Baptista Carreira

Doutor Fernando Paulo Neves da Fonseca Cardoso Carreira

Dezembro de 2018

PÁGINA INTENCIONALMENTE DEIXADA EM BRANCO

*Aos meus orientadores,
Professor João Calado, Professor Fernando Carreira e Professor João Sabino,
por todo o apoio e paciência, fundamentais para a realização desta dissertação.*

*Aos meus pais e irmão,
Carlos Madureira, Lurdes Madureira e Pedro Madureira, pelo carinho, confiança e compreensão.*

*Aos amigos,
pela amizade e ajuda mútua nos períodos mais críticos.*

*À Inês,
a quem expresso admiração, um agradecimento especial, pelo incentivo incansável, pela
compreensão e apoio incondicional.*

E a todos aqueles que de forma direta ou indireta influenciaram nas escolhas e caminhos a seguir,

Um enorme obrigado.

Resumo

A logística assiste atualmente a uma evolução da tecnologia na produção e distribuição de bens de consumo, com foco significativo na segurança, eficácia e qualidade. Para a distribuição destes bens recorre-se maioritariamente à circulação rodoviária, sendo para o efeito dimensionados armazéns e veículos dotados de estruturas e tecnologias adequadas ao regime de desenvolvimento dos métodos de produção.

Neste trabalho desenvolve-se o conceito de um sistema para um veículo pesado chassis-cabine para distribuição de mercadorias alimentares porta-a-porta. O conceito desenvolvido permite efetuar, de forma automatizada, a carga e descarga, sem ser necessária a intervenção direta do operador, requerendo apenas supervisão da operação. Tem como objetivo maximizar a segurança do processo e reduzir tempos de distribuição.

A partir da otimização do compartimento de carga e com o auxílio da tecnologia existente no mercado, é apresentado um conceito que permitirá, de forma inteligente, o armazenamento e recolha de mercadoria. São efetuados estudos preliminares sobre a estrutura do equipamento com recurso a métodos analíticos e numéricos, para seleção de componentes estruturais de sistemas existentes no mercado. No âmbito do funcionamento do sistema autónomo foi selecionada a tipologia de sensores e atuadores.

Um sistema flexível e autónomo que apresenta mais-valias para as empresas de distribuição na melhoria da qualidade do seu serviço.

Palavras-Chave

veículo, distribuição, inteligente, logística, automação, autónomo, transelevador, conceito, sistema.

Abstract

Nowadays, in logistics, there is an evolution of technology in the production and distribution of consumer goods with significant focus on security, efficiency and quality. To distribute goods companies most often resort to land transportation, therefore storage facilities and vehicles are designed with the intent of being adaptable to production methods.

The purpose of this work is to develop a concept of equipment for a heavy-duty vehicle for door to door distribution of goods, allowing automated loading and unloading requiring only supervision of the process by the operator. The aim is to maximize operation safety and reduce distribution time.

A concept is presented which optimizes the cargo compartment and makes use of technology available on the market. Structure studies are carried out by analytical and numerical methods for selection of existing systems. With the intent of providing a functional concept, the typology of sensors and actuators was also selected.

This concept aims to allocate, store and collect any merchandise in an optimal manner, contributing to a flexible and autonomous system that will add value to distribution companies and improve the quality of their service.

Keywords

Vehicle, intelligent, distribution, logistics, automation, autonomous, lift, concept, system

Índice

Índice de Figuras	vii
Índice de Tabelas	xi
Abreviaturas	xii
Nomenclatura	xiii
1 Introdução	1
1.1 Objetivos	2
1.2 Organização do documento	2
2 Estado da arte	4
2.1 Logística	4
2.1.1 Transporte	5
2.1.2 Automação	5
2.1.3 Segurança	6
2.2 Armazéns automáticos	7
2.2.1 Transelevadores	10
2.3 Veículos de distribuição inteligente	11
2.3.1 Sistema <i>Cargomatic</i>	11
2.3.2 <i>FURBOT</i>	12
2.3.3 <i>Vision Van Concept</i>	13
2.3.4 <i>BOXmover</i>	14
2.3.5 <i>Automated cargo loading system</i>	15
2.3.6 <i>Automated truck unloader for unloading/unpacking product from trailers and containers</i>	16
2.4 Contribuição face ao estado da arte	17
3 Conceito do veículo de distribuição inteligente	18
3.1 Levantamento de necessidades e restrições de projeto	18

3.2	Caraterísticas do veículo	19
3.2.1	Legislação em vigor	19
3.2.2	Modelo do Veículo Pesado de Mercadorias	20
3.2.3	Chassis e Superestrutura	20
3.3	Caraterização da carga	22
3.3.1	Estivagem da carga	23
3.3.2	Modelo da palete	23
3.4	Transelevador	24
3.5	Segurança	25
3.6	Manutenção	26
3.7	Conceito de produto e serviço	26
3.7.1	Conceito de produto	26
3.7.2	Conceito de serviço	28
4	Estudo e otimização da estivagem de carga	32
4.1	Método Empírico	33
4.2	Método Heurístico	36
4.3	Otimização da estivagem com refinamento do projeto	42
4.3.1	Seleção da palete ideal	44
4.4	Modelos propostos do veículo	47
4.4.1	1ª Fase - Compartimento com transelevador interior	48
4.4.2	2ª Fase - Compartimento com transelevador exterior	50
4.4.3	3ª Fase - Compartimento com transelevador exterior com largura máxima.	53
5	Dimensionamento do Transelevador	57
5.1	Abordagem ao estudo da estrutura	57
5.2	Medidas iniciais do transelevador	59
5.3	Condições iniciais de cálculo	60
5.4	Braço do Transelevador	62
5.4.1	Perfil da viga tipo carril	63
5.4.2	Simulação de elementos finitos - viga tipo carril	67
5.4.3	Perfil da viga superior do braço robótico	68
5.4.4	Simulação de elementos finitos da viga superior do braço do transelevador	71
5.4.5	Peso do transelevador	73
5.4.6	Simulação de elementos finitos do braço do transelevador considerando o peso próprio	73
5.4.7	Suporte móvel do braço robótico entre o braço robótico e o sistema de translação	75
5.5	Sistema de translação	76

5.5.1	Distância entre as vigas do sistema de translação	77
5.5.2	Simulação de elementos finitos do sistema de translação	79
5.6	Simulação de elementos finitos da estrutura do transelevador	81
5.6.1	Simulação de elementos finitos do transelevador considerando o peso próprio	83
5.7	Peso e capacidade total	85
5.7.1	Solução de estivagem do compartimento	85
5.8	Modelo final do sistema de armazenamento automatizado	87
6	Sensores e Atuadores	88
6.1	Sensores	88
6.1.1	Sensores do transelevador	89
6.1.2	Sensores de detecção de obstáculos	92
6.1.3	Sensores de detecção de carga no compartimento	92
6.2	Atuadores	93
6.2.1	Atuadores das juntas de translação do transelevador	94
6.2.2	Atuadores do movimento de rotação do braço robótico	94
6.2.3	Sistema do painel de abertura lateral em asa	95
6.2.4	Estabilizadores do veículo	96
6.3	Arquitetura de controlo	97
7	Conclusões	99
7.1	Sugestões de trabalhos futuros	100
	Referências Bibliográficas	102
A	Veículo Chassis-Cabine	105
A.1	Características do veículo	105
A.2	Desenho Técnico Chassis DAF	108
A.3	Catálogo DAF BodyBuilders - Chassis	112
A.4	Catálogo DAF BodyBuilders - Superestruturas	117
B	Dimensionamento do Transelevador - <i>Maplesoft</i>	128
C	Catálogos	140
C.1	Catálogo ArcelorMittal - Perfis de Vigas	140
C.2	Catálogo CRT - Hevi-Rail	143
C.3	Catálogo IMO - WD-L Series	154
D	Acessórios Complementares	157

Índice de Figuras

1.1	Exemplo de carga e descarga de um veículo de mercadoria.	1
2.1	Representação de vários sistemas num armazém AS/RS.	7
2.2	Sistema de manuseamento de carga.	8
2.3	Representação de um transelevador de duas colunas.	10
2.4	Manipulação através de veículo empilhador.	11
2.5	Manipulação através de plataformas.	12
2.6	Representação do veículo Freight Urban Robot (FURBOT).	13
2.7	Representação do veículo Vision Van.	13
2.8	Representação do sistema BOXmover.	14
2.9	Representação do sistema BOXmover.	14
2.10	Representação do sistema de carro móvel.	15
2.11	Representação do sistema de robô móvel.	16
3.1	Representação do veículo DAF modelo FA LF55.	21
3.2	Representação do chassis e superestrutura.	22
3.3	Representação de um barril de 50L.	23
3.4	Representação da palete EUR-1 (esquerda) e EUR-6 (direita).	24
3.5	Vista isométrica do transelevador.	25
3.6	Representação do conceito final.	27
3.7	Numeração e Lista de itens do conceito final.	28
3.8	Sequência de movimentos - Porta em asa.	29
3.9	Sequência de movimentos - Rotação e translação do sistema.	30
3.10	Descarga da palete do compartimento.	30
4.1	Configuração da caixa do veículo onde se prevê instalar o sistema automático (vista isométrica).	32
4.2	Organização do compartimento utilizando paletes EUR-1.	34
4.3	Organização do compartimento utilizando paletes EUR-6.	35
4.4	Recursive Five Block, divisão em cinco blocos.	37
4.5	Subdivisões da forma em L.	37

4.6	Algoritmo 2 - Recursive Five-Block melhorado.	38
4.7	Algoritmo 3 - Solver para o algoritmo 2.	39
4.8	Disposição das paletes EUR-1 obtida pelo algoritmo da figura 4.6.	40
4.9	Disposição das paletes EUR-6 obtida pelo algoritmo da figura 4.6.	40
4.10	Disposições das paletes EUR-1 e EUR-6 obtidas pelo método heurístico.	41
4.11	Disposição das paletes EUR-1 com aumento de largura.	43
4.12	Disposição das paletes EUR-6 com aumento de largura.	43
4.13	Organização da carga numa paleta EUR-1: barris na horizontal (cima); barris na vertical (baixo); vistas isométricas (a,b); vista laterais e frente (c,d).	44
4.14	Organização da carga numa paleta EUR-6: barris na horizontal (cima); barris na vertical (baixo); vistas isométricas (a,b); vista laterais e frente (c,d).	45
4.15	Paleta EUR-1 com 4 elementos na horizontal.	46
4.16	Modelo 1, vista de cima, lateral (a) e isométrica (b).	48
4.17	Modelo 2, vista de cima, lateral (a) e isométrica (b).	49
4.18	Figura referente à secção 4.1.	50
4.19	Modelo 3, vista de cima, lateral (a) e isométrica (b).	51
4.20	Figura referente à secção 4.2.	51
4.21	Modelo 4, vista de cima, lateral (a) e isométrica (b).	52
4.22	Modelo 5, vista de cima, lateral (a) e isométrica (b).	53
4.23	Figura referente à secção 4.3.	54
4.24	Modelo 6, vista de cima, lateral (a) e isométrica (b).	55
4.25	Modelo 6, versão final do sistema de distribuição inteligente.	56
5.1	Sequência do estudo dimensional e seleção de perfis ao longo do transelevador. . .	57
5.2	Dimensões mínimas do transelevador para carga e descarga de paletes de diferentes orientações.	59
5.3	Sistema de garfos móveis.	60
5.4	Solução 1300mm - Módulo adicional dos garfos móveis para redução do comprimento total da viga superior.	61
5.5	Representação do transelevador e cargas associadas.	63
5.6	Viga tipo carril.	63
5.7	HVR-1 - Referente ao catálogo PBCLinear [25, p. 32 e 33] no anexo C.2.	65
5.8	Representação do deslocamento da viga carril.	67
5.9	Tensões máximas e Coeficiente de Segurança do transelevador.	67
5.10	Deformações do transelevador.	68
5.11	Viga superior.	69
5.12	Deslocamento máximo do perfil UPE80.	71
5.13	Reações nos apoios e Tensão máxima.	72
5.14	Coeficiente de segurança e deslocamento máximo.	72

5.15	Modelo do braço robótico (vista isométrica).	73
5.16	Reações e deslocamento máximo com peso próprio.	74
5.17	Tensões máximas e coeficiente de segurança com peso próprio.	74
5.18	Suporte móvel que permite acoplar o braço robótico ao sistema de translação.	75
5.19	Proposta do sistema de carril.	75
5.20	Componentes do suporte móvel do braço robótico (junta de rotação).	76
5.21	Estrutura do sistema de translação e movimentos das juntas lineares.	76
5.22	Acoplamento das vigas do sistema de translação.	77
5.23	Reações do transelevador em carga nas vigas de topo em <i>FTool</i> .	77
5.24	Reações e deformação da viga de topo em <i>FTool</i> .	78
5.25	HVR-2 - Referente ao catálogo PBCLinear [25, p. 34 e 35] no anexo C.2.	78
5.26	HVR-3 - Referente ao catálogo PBCLinear [25, p. 38 e 38] no anexo C.2.	79
5.27	Tipos de perfis propostos e deslocamentos máximos.	79
5.28	Resultados da tensão máxima suportada nos perfis HVR-2 e HVR-3.	80
5.29	Coeficiente de segurança mínimo dos perfis HVR-2 e HVR-3.	80
5.30	Deslocamentos máximos dos perfis HVR-2 e HVR-3.	80
5.31	Tensões máximas suportadas nos perfis HVR-2 e HVR-3.	82
5.32	Deslocamentos máximos dos perfis HVR-2 e HVR-3.	82
5.33	Deslocamentos máximos dos perfis HVR-2 e HVR-3.	83
5.34	Tensão máxima 32.8 MPa.	83
5.35	Deslocamento máximo 21.66 [mm].	84
5.36	Coeficiente de segurança mínimo de 9.60.	84
5.37	Distribuição da carga no veículo.	86
5.38	Vista isométrica do sistema de armazenamento inteligente.	87
5.39	Vista isométrica do protótipo virtual desenvolvido.	87
6.1	Exemplo de um encoder linear.	89
6.2	Localização dos sensores do sistema de translação.	90
6.3	Localização dos sensores de posição e fim-de-curso do braço robótico.	91
6.4	Localização dos sensores do elemento terminal (garfo móvel).	92
6.5	Posição dos sensores de detecção de obstáculos.	93
6.6	Posição dos sensores de detecção de carga no compartimento.	93
6.7	Sistema de atuação dos movimentos de translação do suporte do braço robótico.	94
6.8	Sistema de atuação dos movimentos lineares dos grafos móveis.	94
6.9	Sistema de rotação do braço robótico.	95
6.10	Representação do Rolamento <i>slew-drive</i> .	95
6.11	Representação do sistema de painéis de abertura em asa lateral.	96
6.12	Estabilizadores para o veículo.	96
6.13	Arquitetura de comando e supervisão do sistema de distribuição inteligente.	97

6.14 Componentes do sistema de distribuição inteligente.	98
D.1 Acessório para a palete EUR-1 para barris na vertical. Acessório P.001	158
D.2 Acessório para a palete EUR-6 e para EUR-1 em duplicado (x2) para barris na horizontal. Acessório P.002	158
D.3 Acessório para a palete EUR-6 com barris na vertical. Acessório P.003	159
D.4 Acessório para ligação entre o transelevador e o sistema de translação. Acessório T.001	159
D.5 Acessório para o sistema de translação. Acessório T.002	160
D.6 Acessório para ligação entre o transelevador e o sistema de translação. Acessório T.003	161

Índice de Tabelas

2.1	Problemas <i>versus</i> Soluções proposta pelos autores Roodbergen and Vis.	9
4.1	Descrição referente à figura 4.2 do método empírico.	34
4.2	Análise do espaço do compartimento utilizando a combinação apresentada na figura 4.3.	35
4.3	Descrição referente à figura 4.10, método heurístico.	40
4.4	Comparação entre os métodos empírico e heurístico.	41
4.5	Comparação do armazenamento com paletes EUR-1 vs EUR-6 com a alteração de largura (2460 [mm]).	42
4.6	Espaço útil ocupado com a largura do compartimento de 2200mm e 2460mm. . . .	43
4.7	Quantidade de barris armazenados para diferentes tipos de paletes, posição da carga e níveis do armazém.	45
4.8	Peso total para as diferentes paletes.	46
4.9	Comparação do modelo 1 ao 5.	54
5.1	Comparação de resultados obtidos pelos diversos métodos para o dimensionamento da viga superior HVR-1.	68
5.2	Comparação de resultados obtidos pelos diversos métodos para o dimensionamento da viga superior UPE80.	72
5.3	Peso de cada item do braço do transelevador.	73
5.4	Comparação dos resultados sem e com peso próprio.	75
5.5	Comparação de resultados dos perfis da viga superior HVR-2 e HVR-3.	81
5.6	Peso de cada item da secção 2.	85

Abreviaturas

ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
NP	Norma Portuguesa
DIN	<i>Deutsches Institut für Normung</i>
BSEN	<i>British Standard European Norm</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
ITS	<i>Intelligent Transportation Systems</i>
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
FURBOT	<i>Freight Urban Robot</i>
JIT	<i>Just in Time</i>
AGV	<i>Automated Guided Vehicle</i>
PLC	<i>Programmable logic controller</i>
DL	Decreto-Lei
VA	Dimensão da cabine do veículo até metade da roda dianteira
WB	<i>WheelBase</i> - Distância entre eixos (dianteiro e traseiro)
AE	Dimensão de metade da roda traseira até ao final do chassis
K	Dimensão de metade da roda dianteira até ao final do cabine
BAM	<i>Body Attachment Method</i>
EUR-1	EUR-EPAL - Norma da Palete Europeia - 1200x800
EUR-6	EUR-EPAL - Norma da Palete Europeia - 800x600
HMI	<i>Human Machine Interaction</i>
NP-Hard	<i>Non-Deterministic Polynomial time</i>
UPE	Perfis de vigas em U - <i>UPE European standard U channels</i>

Nomenclatura

L	largura do compartimento	[mm]
W	comprimento do compartimento	[mm]
w	largura da paleta	[mm]
c	espaço livre entre as paletes no sentido transversal	[mm]
d	espaço livre entre as paletes no sentido longitudinal	[mm]
ω	carga	[N]
F_y	força no eixo vertical	[N]
M	momento	[MPa]
E	módulo de elasticidade	[GPa]
σ_{adm}	tensão admissível	[MPa]
σ_{max}	tensão máxima	[MPa]
D_y	deslocamento	[mm]
EIY	função deslocamento	[MPa]
EIR	função rotação	[MPa]
Q	peso da carga	[N]
I_y	momento de inércia segundo y	[cm ⁴]
W_y	módulo de flexão da secção segundo y	[N]
<i>c.s.</i>	coeficiente de segurança	

PÁGINA INTENCIONALMENTE DEIXADA EM BRANCO

Capítulo 1

Introdução

A presente dissertação pretende desenvolver o conceito de um veículo de distribuição inteligente. Este terá como objetivo a otimização do compartimento de carga e o dimensionamento de um módulo adicional que, de forma inteligente, permita a carga e descarga autónoma da mercadoria.

A segurança da operação é uma das principais razões do desenvolvimento da dissertação. O envolvimento de um ser humano na tarefa da carga e descarga obriga a um esforço muscular por parte dos operadores. A postura aliada às elevadas cargas de mercadoria torna esta operação num trabalho intensivo, sendo por vezes descuradas as condições de segurança necessárias. A figura 1.1 representa o método mais comum de carga e descarga de mercadorias referente à distribuição de bens alimentares.

O transporte também é afetado pelas condições de segurança na estivagem da carga no compartimento. Pressupõe-se a presença de um operador experiente com conhecimentos de massa que evite a descentragem da carga e conseqüente aumento de falhas e desgaste do veículo. Este desgaste significa um aumento de custos de manutenção da frota de uma empresa.



(a) Condições de carga/descarga para os operadores.



(b) Estivagem da carga manual.

Figura 1.1: Exemplo de carga e descarga de um veículo de mercadoria ¹.

Por sua vez, o tempo de distribuição também é afetado pela disponibilidade de meios necessários à carga e descarga, nomeadamente veículos empilhadores ou zonas específicas para o efeito, assim como a organização da carga e da rota de distribuição.

Neste trabalho são apresentados vários conceitos aplicáveis a um veículo inserido na área logística alimentar, que poderão proporcionar segurança, flexibilidade e rapidez na carga e descarga de mercadoria. Assim, o conceito tem como objetivo promover o aumento da segurança para os operadores, reduzir os custos de manutenção e melhorar o controlo do processo logístico.

1.1 Objetivos

Dadas as múltiplas componentes de estudo, nomeadamente estrutural e robótica necessárias para o pleno funcionamento do sistema, foi proposto:

- Desenvolver o conceito de um veículo, pela definição de pressupostos das variáveis do projeto, nomeadamente as características do veículo e respetivas dimensões do compartimento;
- Otimizar o espaço útil com o intuito de aumentar a eficiência do veículo e a sua utilização;
- Apresentar um conceito com base em tecnologias existentes no mercado que possam ser adequadas ao veículo;
- Dimensionar a estrutura e instrumentar com base no conceito, que permita o funcionamento do módulo.

1.2 Organização do documento

No **capítulo 2** é enunciado o estado da arte, referente à logística, ao transporte e automação. São referenciados vários artigos e trabalhos desenvolvidos na área da distribuição, assim como sistemas autónomos que ajudaram na criação do conceito e relacionados com o tema da dissertação.

No **capítulo 3** são impostas as necessidades e restrições para posterior análise crítica referente às métricas definidas e propostas soluções para resolução de vários problemas encontrados ao longo do projeto. São estabelecidas cargas comuns ao tipo de distribuição e definidos pressupostos de segurança para o bom funcionamento do sistema. É apresentado o conceito de produto e serviço representado com uma lista de componentes e respetiva sequência de movimentos para a operação de carga e descarga do veículo.

¹Figuras disponibilizada em (a) <https://www.alamy.com/> e (b) <https://stock.adobe.com/>.

O **capítulo 4** é referente ao estudo e otimização da estivagem de carga no compartimento do veículo. Através de duas abordagens, empírica e heurística (baseada num algoritmo desenvolvido para o efeito), são apresentados diversos resultados para o desenvolvimento de diferentes modelos do compartimento do veículo. A apresentação dos modelos é baseada nas interpretações dos resultados das abordagens, melhorando aspetos do conceito de forma iterativa. É escolhido o modelo que apresenta ser mais vantajoso ao nível da capacidade de carga e de menor peso adicional.

No **capítulo 5** é feito o dimensionamento do módulo do transelevador. O módulo consiste no braço que comporta movimentos lineares e de rotação possibilitando o movimento de carga. Através de pressupostos presentes na norma NP EN 1993-1-1 2010 [1] e referentes ao capítulo 3, nomeadamente cargas máximas admissíveis, é feita a escolha de sistemas existentes no mercado para os requisitos necessários. São apresentadas soluções para reduzir tensões e deslocamentos que encarecem o peso do módulo. A abordagem inicial é realizada através de métodos analíticos e, posteriormente, de métodos numéricos (com recurso ao *software Solidworks*) para confirmação de resultados e escolha dos perfis indicados para a estrutura suportar a carga e peso próprio.

O **capítulo 6** aborda o sistema de cargas e descargas automatizado e o seu funcionamento tendo em conta os pressupostos dos capítulos anteriores. O capítulo refere a função dos sensores e atuadores tidos em linha de conta com o modelo selecionado, com uma breve representação de uma arquitetura de controlo do veículo (e respetivos sistemas).

Capítulo 2

Estado da arte

O crescimento da logística e do movimento de cargas é proporcional às mudanças contemporâneas no sistema económico em termos globais, regionais e locais. Segundo Hesse and Rodrigue [2] a questão fundamental não é, necessariamente, a natureza, as origens ou o destino da mercadoria, mas sim o modo como esta se move.

Com a tecnologia existente atualmente é possível criar um conceito de um veículo de transporte, na área da distribuição, que solucione os vários problemas como a segurança, a organização, e a otimização de processos como o tempo de entrega e a flexibilidade da carga do veículo.

2.1 Logística

Segundo Hesse and Rodrigue [2] devem existir novos modos de distribuição para se poder acompanhar os novos modos de produção. Refere ainda que o movimento físico da mercadoria é uma das partes com mais custo em toda a atividade logística, tornando a distribuição de mercadorias o ponto com mais ganhos na produtividade e serem cada vez mais dependentes da eficiência dos terminais.

A logística contemporânea dedica-se, essencialmente, à automação de processos de produção, de modo mais eficiente possível [2]. Pressupõe-se que dada a afirmação anterior, “os modos de distribuição devem acompanhar os novos modos de produção”, a área da distribuição deve-se dedicar à automação dos processos de distribuição, implementando sistemas com recurso às tecnologias de informação, que permitem a gestão integrada e controlo de informação, com possibilidade de criar mais oportunidades para novos sistemas de distribuição.

Segundo Grazia Speranza [3], o “*Big Data*” e o *Internet of Things (IoT)* conduziram à explosão de informação e a sua tendência para serem usados, em diversas áreas da logística será cada vez maior. “*Big Data*” toma várias formas, como por exemplo, mensagens de texto a imagens, desde

sinal de telemóvel a sinal de *Global Positioning System (GPS)*, até leituras de sensores. Assim, refere-se que a ligação entre objetos físicos eletrónicos com recurso a *software* e sensores permite a estes “objetos” trocar (receção e envio) a informação, criando oportunidades para a integração direta dos sistemas no mundo real nomeadamente aplicações na logística e projetos.

Segundo Giannopoulos [4], existem vários algoritmos nos sistemas de navegação com recurso à partilha de informação da localização. Dos sensores de temperatura no compartimento do veículo até à implementação de vários outros sistemas, como é o exemplo dos sistemas *Radio Frequency Identification (RFiD)* para identificação do veículo e da carga em questão, têm sido alvo de investigação e desenvolvimento dos últimos 15 anos por parte da indústria. A evolução da conectividade entre sistemas proporcionará mais veículos e infraestruturas inteligentes.

2.1.1 Transporte

O transporte é uma das principais funções da logística no desempenho do serviço ao cliente disponibilizando um produto dentro do prazo adequado. Está associado ao movimento de produtos ou mercadorias, sujeitas a princípios de eficiência. A capacidade de armazenamento e a flexibilidade na necessidade de mudança de rota também são preocupações associadas ao transporte.

Segundo Kondratjev [5], existe a necessidade de existir um método de transporte entre o produtor e o consumidor que seja rentável, justificando o investimento no desenvolvimento das tecnologias nesta área.

A maior parcela de custos numa organização ou empresa é o transporte, refere o autor Kondratjev [5]. O transporte deve ser sempre economicamente justificado, uma vez que a movimentação de produtos requer gastos de recursos monetários, temporais e ambientais, conclui o autor Hesse and Rodrigue [2].

Assim, o objetivo do transporte será a entrega da mercadoria o mais rápido com menos custo e impacto ambiental. Também é necessário minimizar a perda e dano à própria mercadoria a ser transportada, atendendo aos requisitos do cliente no tempo definido e fornecer informações da mercadoria durante o transporte.

Segundo o autor Cepolina and Farina [6], o transporte continua a ser fundamental para que sejam atingidos os princípios fundamentais da logística: o produto certo, na quantidade certa, na hora certa, no lugar certo e ao menor custo possível.

2.1.2 Automação

A tecnologia robótica tem tido um crescimento tal que possibilita a implementação de sistemas autónomos para o uso de diversas aplicações, desde a resposta a desastres até à monitorização

da logística. Nestas aplicações os robôs estabelecem interações colaborativas para alcançar os objetivos pretendidos de modo a otimizar as funções objetivas do sistema.

Segundo Farinelli et al. [7], o uso de robôs para o uso de tarefas industriais na ampla área da manufatura e logística aumentou significativamente nos últimos anos assim como as iniciativas industriais para o uso da automação de vários cenários e aplicações.

Existe um foco na inovação industrial de várias aplicações desde a manipulação (“*pick and place*”) ao transporte. Alguns exemplos dessas inovações são os sistemas *Automated Guided Vehicle (AGV)* que transportam a mercadoria, de forma autônoma e armazéns automáticos que apresentam sistemas de manipulação e armazenagem autônoma, facilitando o controle de qualidade.

Sistemas como os RFID possibilitam a identificação da mercadoria, auxiliando na gestão e automação de todo um sistema aplicado a manipulação de bens.

Um dos aspetos cruciais de um projeto de sistemas de robôs é a sua interação com o ambiente exterior, nomeadamente obstáculos ou seres humanos. Com recurso a sensores e algoritmos apropriados é possível tornar os sistemas previsíveis e seguros.

2.1.3 Segurança

No âmbito da segurança, a tecnologia é usada como meio de reduzir os acidentes de trabalho que envolvam seres humanos ou máquinas.

Os autores Neri et al. [8] realizaram um estudo com base em dados do setor do transporte rodoviário. Nesse estudo, cerca de 30,2 % dos acidentes de trabalho em via pública correspondiam à categoria de condutores de transportes. A percentagem significativa da participação deste setor em acidentes do trabalho justifica a importância de fornecer melhores condições de trabalho e saúde no setor profissional.

As cargas excessivas estão relacionadas com riscos mais elevados de proporcionar um acidente de trabalho, assim como a propensão de originar doenças de longo prazo, devido às condições de carga e descarga e de recursos de maquinaria disponíveis para proceder à operação.

Neri et al. [8] referem ainda que os acidentes e as doenças do trabalho constituem danos sociais preocupantes, além de comprometerem a saúde e a integridade física do trabalhador, desajustam grande parte das famílias. Por outro lado, um operador afastado da atividade de trabalho deixa de poder contribuir, tanto para a empresa como para o estado do seu país.

Os custos associados aos acidentes e doenças do trabalho constituem parâmetros para uma maior investigação do problema no campo da saúde ocupacional. Além disso, os prejuízos dos acidentes de trabalho, maioritariamente causados pela falta de segurança, extrapolam o campo económico e ganham dimensão social. Conclui-se que, se a tecnologia for usada a favor da

diminuição do risco de ocorrência de acidentes de trabalho, como é o exemplo da carga e descarga de mercadorias, e esta operação for substituída por sistemas tecnológicos, estes devem ser estudados e desenvolvidos com o intuito de maior segurança e menor risco de falha humana.

2.2 Armazéns automáticos

Os armazéns automáticos AS/RS (*Automated Storage and Retrieval Systems*) são um tipo de sistema de armazém que através de uma, ou mais gruas (figura 2.1) são capazes de armazenar e recolher mercadoria sem necessidade direta de um operador. Os AS/RS são constituídos por prateleiras, gruas, corredores e posições de recolha, usados na distribuição logística e em ambientes de produção.

A implementação deste sistema tem vindo a crescer dadas as vantagens do espaço, da automação e da segurança humana relativamente aos sistemas não-autómatos.

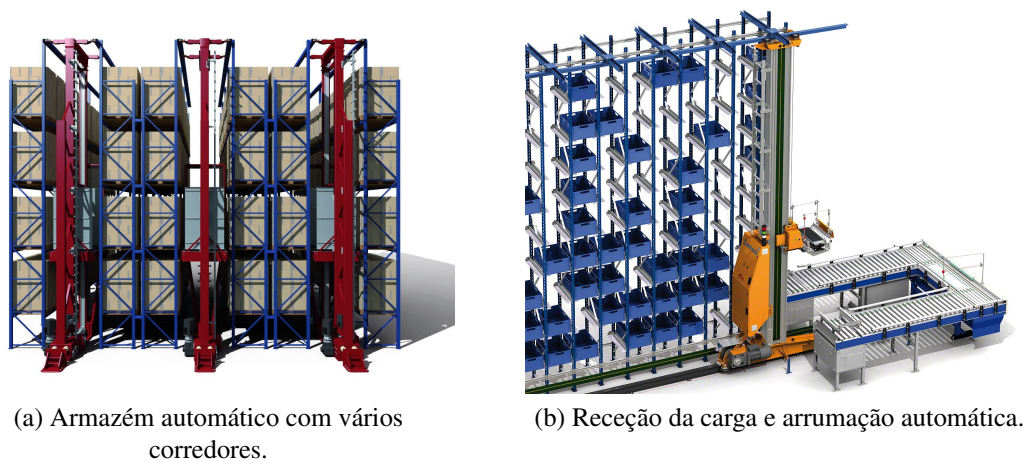


Figura 2.1: Representação de vários sistemas num armazém AS/RS ².

A integração deste tipo de sistemas em veículos de distribuição torna-se interessante pelo projeto criado com o objetivo da rentabilização máxima do sistema e automação na carga e descarga. O conceito teve em conta vários fatores contabilizados no projeto de um sistema AS/RS.

Segundo Wauters et al. [9], no projeto de um armazém automático é preciso ter em conta dois pontos: design físico e os sistemas de controlo para assim conseguir conciliar estes dois pontos para a obtenção de máxima rentabilidade do sistema.

²Figura disponibilizada em <https://www.mecalux.pt>

De modo a otimizar a manuseamento de mercadoria existem 10 princípios que se deve ter em consideração: Planeamento, normalização, trabalho, ergonomia, tipo de carga, espaço útil, sistema, ambiente, automação e o custo de ciclo de vida.

Com base nestes princípios Tompkins et al. [10] sugere os passos que solucionam os problemas de manuseamento de carga, também referentes à figura 2.2:

- Definir objetivos;
- Investigar todos os requisitos da movimentação, armazenamento, segurança e controlo da mercadoria;
- Criar diferentes alternativas de design para o sistema requerido;
- Avaliar as alternativas de design;
- Escolher o design;
- Implementar o design.

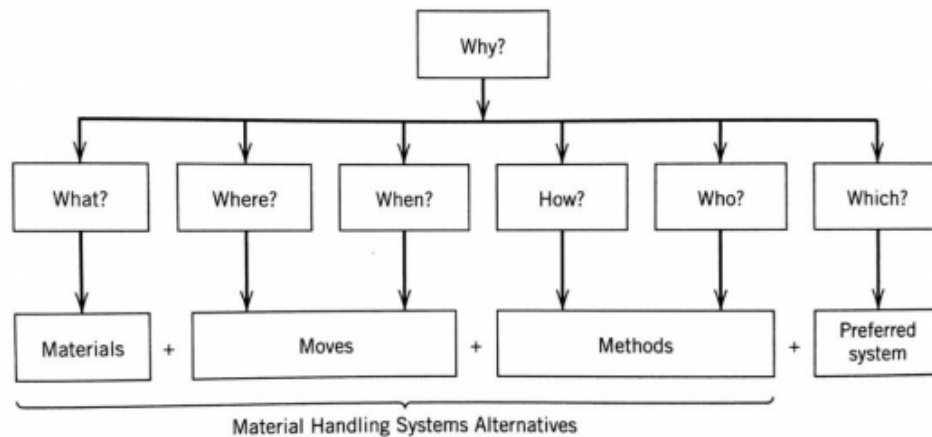


Figura 2.2: Sistema de manuseamento de carga [10].

Existem vários tipos de opções dentro dos armazéns automáticos. Os AS/RS são categorizados através do tamanho e volume da mercadoria, o método de armazenamento e recolha e a interação entre homem-máquina:

- O sistema de *unit-load* é o método em que existe apenas uma grua e esta só trata de um artigo de cada vez, com possibilidade de se movimentar em mais do que um corredor;
- O sistema de *mini-load* é o método mais comum usado para recolha de mercadoria “pequena” como componentes eletrónicos e produtos do ramo farmacêutico;
- O sistema de *dual/multi-shuttle*, ou multi-gruas é o mais usado para mercadorias no ramo da logística.

Roodbergen and Vis [11] propôs a tabela 2.1 para as soluções para os diferentes tipos de problemas existentes num projeto de AS/RS.

Tabela 2.1: Problemas *versus* Soluções proposta pelos autores Roodbergen and Vis [11].

Tipos de Problemas	Tipo de Soluções
<i>Configuração do sistema</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Número de corredores; • Altura das estantes; • Comprimento dos corredores; • Número e localização dos pontos de entrada-saída; • Número de guias por corredor.
<i>Tipo de armazenamento</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Número de tipos de mercadoria; • Posição de tipos de mercadoria.
<i>Lotes</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo; • Tamanho; • Ordem.
<i>Sequência</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Restrições; • Sequência de eventos (ordem, métodos).
<i>Pontos</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Carga e descarga; • Onde a grua “repousa”.

Segundo Zollinger [12] os sistemas AS/RS têm:

Vantagens

- Melhoria da eficiência na capacidade e operações num espaço de armazenamento de mercadorias;
- Reduzir o WIP (Work in Progress);
- Melhorar a qualidade e desempenho no Just in Time (JIT);
- Controlo do inventário em tempo real;
- Menos probabilidade de dano na mercadoria.

E as desvantagens associadas:

Desvantagens

- Considerar se a aquisição do sistema é justificável;
- Pouca flexibilidade no *layout* do armazém;
- Capital inicial elevado;
- Capacidade de armazenamento fixa;

- Pouca visibilidade.

Tendo em consideração os pontos referidos acima é ainda importante considerar:

- Tipos de cargas presentes e futuras;
- Número de cargas que podem ser armazenadas no sistema;
- Peso do material a manipular, médio e máximo;
- Descrições das operações;
- Considerações de projeto.

2.2.1 Transelevadores

Os transelevadores são máquinas criadas para o armazenamento automático de mercadoria através de movimentos mecânicos automatizados. Aumentam a produtividade das instalações ao mesmo tempo que diminuem os recursos exigidos para o seu funcionamento. Podem ser de coluna simples, recomendado até 1500kg, ou coluna dupla (figura 2.3) para cargas acima dos 1000kg ou de grandes dimensões. Constituem a última geração em acionamentos controlados por variadores de frequência vetoriais com controlo de posicionamento através de telémetros laser e comando inteligente acionados por computador ou Programmable logic controller (PLC), segundo Mecalux [13] e [14].

Com o armazenamento compacto, a rapidez e a flexibilidade confere a este tipo de porta-paletes um elemento essencial para manobrar mercadorias.

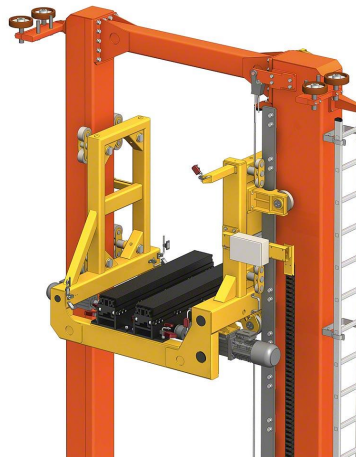


Figura 2.3: Representação de um transelevador de duas colunas ².

²Figura disponibilizada em <https://www.mecalux.pt>

2.3 Veículos de distribuição inteligente

O termo *Intelligent Transportation Systems (ITS)*, correspondente ao sistema de transporte inteligente, refere-se à tecnologia, infraestrutura e serviços do futuro que inclui o planeamento, a operação e métodos de controlo para o uso de transportes de pessoas e/ou mercadorias. Os ITS têm como objetivo criar serviços inovadores relacionados com métodos de transporte.

Crainic et al. [15] referem um aumento significativo da capacidade dos sistemas de transporte na tentativa dos tornar mais eficientes, através do seu desenvolvimento em várias áreas como a eletrónica, telecomunicações, sistemas de posicionamento, no processamento de informação e planeamento.

Segundo Crainic et al. [15], nos últimos 15 anos, as tentativas e esforços realizados com o objetivo de criar e implementar novas gerações de sistemas de transporte para controlo de congestionamentos resultaram num aumento da segurança e melhoria na mobilidade. Consequentemente, os novos sistemas resultaram num aumento da produtividade e eficácia dos sistemas envolventes.

A utilização destes sistemas possibilita a criação de novas oportunidades para parcerias de negócios maiores e mais fortes, processos de decisão mais ágeis e rápidos, melhores níveis de operações e serviços e maior satisfação do cliente e lucro.

De seguida apresentam-se alguns exemplos da implementação de novas gerações de sistemas de transporte.

2.3.1 Sistema *Cargomatic*

A figura 2.4 representa o conceito mais comum de distribuição, com recurso a um veículo empilhador conduzido por um operador.



Figura 2.4: Distribuição através de veículo empilhador³.

³Figura disponibilizada em https://www.cargofloor.com/en/site/en_cargomatic

Existem veículos equipados com tecnologias que permitem a operação da distribuição mais segura e rentável, como é o caso das plataformas de movimento que auxiliam no processo de carga e descarga, denominadas de *conveyors*.

A publicação da CargoFloor [16] refere que a otimização de processos logísticos é mais importante que nunca. São apresentados métodos de carga e descarga: o mais comum (figura 2.4) com recurso a um veículo empilhador. Outro através de plataformas projetadas para acomodação da mercadoria e respetiva movimentação automatizada até à base logística (figura 2.5).

A plataforma do veículo é compatível com a plataforma da zona de carga e descarga, que, através de sistemas PLC são capazes de comunicar entre si e efetuar a operação com segurança, fornecendo informações em tempo real permitindo supervisionar e obter dados sobre a mercadoria.

Na figura 2.5, disponibilizada por CargoFloor [16], são representados os sistemas de carga e descarga através de sistemas de movimentação de carga.



(a) Sistema de conveyors.



(b) Retaguarda do compartimento.

Figura 2.5: Distribuição através de veículo empilhador³.

2.3.2 *FURBOT*

Cepolina and Farina [6] propôs o modelo de um veículo de distribuição chamado Freight Urban Robot (*FURBOT*). O conceito baseia-se num sistema de distribuição com o propósito de reduzir fatores externos (tempo de entrega, por exemplo) dos processos de entregas num meio citadino. Cada pacote é caracterizado com a morada e dimensões respetivas para posterior entrega ao cliente.

O *FURBOT* consiste num veículo com porta-paletes (figura 2.6) que utiliza um tipo de armazenamento variado conforme o tipo de encomendas (apenas de pequenas dimensões). O sistema aplica-se à última etapa de todo o processo de entregas, a recolha do produto ou entrega ao cliente. No seu modo de funcionamento, o veículo é conduzido até um ponto estratégico de entrega temporária e aguarda a posterior recolha do artigo pelo cliente.

Através de métodos e respetivos resultados presentes no artigo de Cepolina and Farina [6] foi possível a otimização do sistema de transporte, tendo em conta a minimização dos custos

e o intuito de inovar e sustentar o esquema de distribuição urbana. O incremento do valor das entregas dos produtos requer a entrega dentro do menor tempo possível, com custos mais baixos na armazenagem e inventários. Baseia-se, portanto, no princípio do JIT que envolve entregas no tempo certo no sítio certo.

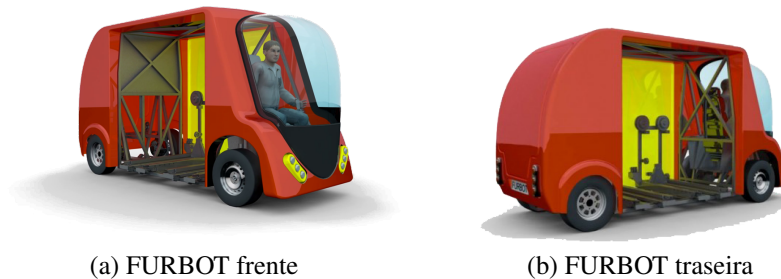


Figura 2.6: Representação do veículo FURBOT [6].

2.3.3 Vision Van Concept

Daimler [17], desenvolveu o conceito do veículo de distribuição de um “futuro”, na participação dos processos de entrega, composto por uma área de carga automatizada cujo auxílio de entregas por drones que aceleram o processo *last-mile* (figura 2.7). O conceito tem como intuito criar uma rede inteligente de uma cadeia logística completamente autónoma.

Os processos são controlados, através de algoritmos e software com base em sistemas armazenados na “núvem”, com informações referentes à carga e descarga de pequenas mercadorias, gestão da área, rota otimizada e operações do drone.

Os objetivos principais são a otimização das entregas numa rede de sistemas interativa, o uso da gestão da área de carga autónoma e a entrega usando dois drones, para reduzir o tempo de entrega e veículo parado.

Segundo este conceito, o veículo inclui um sistema modular de carga, tornando-o flexível do modo como se carrega/descarrega, com recurso a um sistema “pick and place” que em conjunto com os drones automatiza toda a entrega de mercadoria.

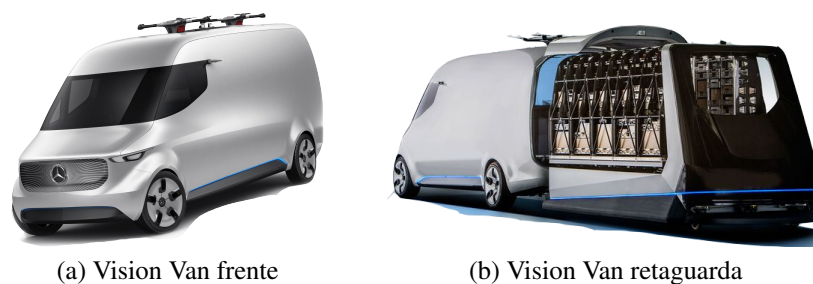


Figura 2.7: Representação do veículo Vision Van ⁴.

2.3.4 BOXmover

O sistema BOXmover [18] baseia-se na separação da estrutura do chassis, permitindo a troca do compartimento de carga, representado na figura 2.8 e 2.9.



(a) Veículo em funcionamento.

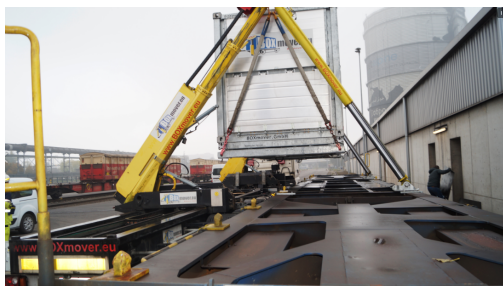


(b) Exemplo de outros tipos de compartimentos.

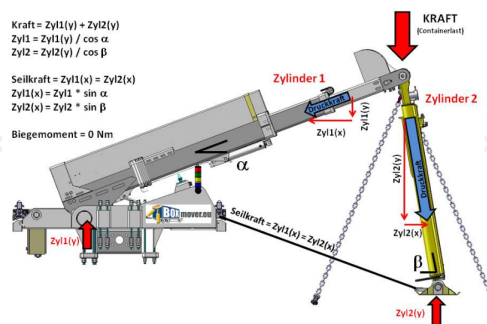
Figura 2.8: Representação do sistema BOXmover⁵.

O desenvolvimento do sistema teve como objetivo tornar a ligação entre a ferrovia e rodovia mais simples e económica.

Com recurso a dois cilindros hidráulicos, com capacidade para 35 [ton], é possível o movimento e acomodação de contentores ISO com a norma DIN 688. O sistema é flexível na distribuição de mercadorias, provenientes da ferrovia para a rodovia, e na monitorização de todas as suas funções para que o operador apenas supervisione o seu funcionamento.



(a) Processo de carga/descarga.



(b) Cilindro hidráulico desenvolvido.

Figura 2.9: Representação do sistema BOXmover⁵.

⁴Figuras disponibilizadas em <https://www.daimler.com/innovation/specials/vision-van/en/>

⁵Figura disponibilizada em <http://www.boxmover.gmbh/>

2.3.5 Automated cargo loading system

Em 1991, os autores Angell et al. [19] propuseram uma patente (**Patent Number: 5,015,145 - U.S. Patent**) referente a métodos e instrumentação para carga automática de veículos.

Consiste num sistema de carga automática que tem como objetivo maximizar a utilização do espaço útil do veículo, tendo em conta parâmetros como o veículo e a mercadoria a ser carregada. Neste sistema é usado um robô que retira a mercadoria do armazém e determina a carga ideal para os compartimentos selecionados, maximizando a utilização do espaço útil. Um sistema de *conveyors* auxilia o robô com os movimentos dentro do compartimento, sendo auxiliado por uma unidade de controlo. O robô tem a configuração de um braço telescópico que providencia movimentos em três dimensões, conforme representado na figura 2.10 (a).

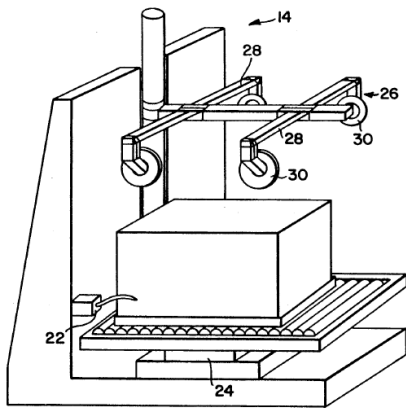


FIG. 2

(a) Processo de carga/descarga.

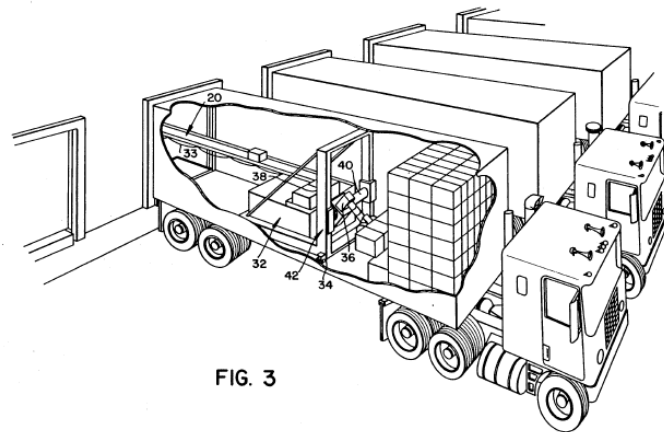


FIG. 3

(b) Cilindro hidráulico desenvolvido.

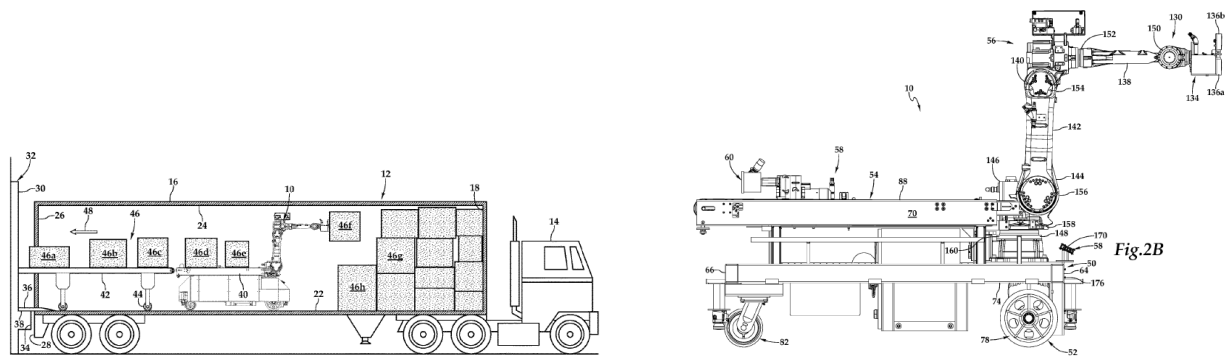
Figura 2.10: Representação do sistema de carro móvel dos autores Angell et al. [19].

O sistema tem as seguintes características:

- Carro móvel;
- Uma estação recetora no carro móvel configurado para manipular a mercadoria;
- Um carregador no carro móvel;
- Membros de suporte verticais e espaçados;
- Uma viga que define um eixo pivot entre os suportes verticais para movimento vertical ao longo dos referidos membros de suporte;
- Braço robótico montado na viga do eixo pivot para recolha da mercadoria;
- Braço telescópico autopropulsionado com capacidade de movimentos nos três eixos;
- O carregador inclui sensores de distâncias montados nas laterais para evitar obstáculos.

2.3.6 Automated truck unloader for unloading/unpacking product from trailers and containers

Em 2017 os autores Criswell [20] propuseram uma patente (**Patent Number: 9,701,492 B2 - U.S. Patent**) referente também a um sistema para manipulação de mercadoria com o intuito de efetuar a descarga e desembalar a mercadoria de forma automática, em contentores ou compartimentos de um veículo. Este conceito consiste no desenvolvimento de um robô móvel, representado na figura 2.11, que através de sistemas *conveyors* e sistemas de controlo auxiliam a operação de remoção das caixas do compartimento para um sistema rolante automatizado. O sistema autónomo tem como auxílio sensores e atuadores, juntamente com interface para o utilizador baseado em *software* de controlo.



(a) Processo de carga/descarga num compartimento.

(b) Veículo robotizado.

Figura 2.11: Representação do sistema de robô móvel dos autores Criswell [20].

O sistema tem as seguintes características:

- Estrutura base com duas extremidades (princípio e fim);
- Baseado num sistema de junta de translação telescópica;
- Com controlo baseado em medições e distâncias para deteção de objetos;
- O sistema de controlo inclui memória acedida através de processadores, que incluem as instruções necessárias para a operação;
- O robô tem capacidade de manipular caixas através de um braço e recurso a sucção;
- Com capacidade de deteção visual através de processamento de imagem para deteção de espaço para descarga do produto.

2.4 Contribuição face ao estado da arte

A presente dissertação visa o desenvolvimento do conceito de um veículo de distribuição inteligente. Tem como objetivo a otimização do compartimento de carga e o dimensionamento de um sistema robótico que, de forma inteligente, permita a carga e descarga autónoma da mercadoria.

O conceito proposto consiste num compartimento modular que pode ser acoplado em qualquer veículo pesado de mercadorias, e é composto por:

- Uma estrutura de translação, baseada num sistema de carril-guia que acomoda um transelevador;
- Um transelevador que permite a carga e descarga das paletes, acedendo a todo o compartimento a partir do lado exterior;
- Um sistema de controlo de motores e cilindros hidráulicos para movimentação do equipamento robótico;
- Sensores e atuadores que permitem o controlo autónomo do movimento de carga, em especial atenção aos obstáculos ao seu redor;
- Um algoritmo para tomada de decisões em relação à estivagem de carga: otimizando o peso da mercadoria tendo em conta o espaço vazio do compartimento.

O equipamento desenvolvido é capaz de efetuar a operação de carga e descarga da mercadoria através de um transelevador dimensionado para o efeito, com o uso de paletes *standard*, sem recorrer a plataformas específicas para o efeito.

As escolhas definidas para o conceito do transelevador tem como base diversos pressupostos ao longo da dissertação, e, por isso, alvo de possíveis melhorias. São descritas na conclusão algumas propostas e trabalhos futuros que permitirão otimizar este conceito.

Capítulo 3

Conceito do veículo de distribuição inteligente

O conceito do veículo apresentado neste capítulo foi desenvolvido para ser utilizado por distribuidores logísticos de bebidas e outros produtos alimentares em distribuição porta-a-porta. Neste capítulo são levantados alguns pressupostos e características que serão necessárias para o desenvolvimento do projeto, descrito nesta dissertação. Também será apresentado o equipamento desenvolvido e o novo conceito de serviço proposto para os distribuidores logísticos. O modelo apresentado corresponde a uma sequência de melhorias resultante dos estudos posteriores ao capítulo atual.

3.1 Levantamento de necessidades e restrições de projeto

O sistema terá a necessidade de:

- Organizar e tornar a distribuição o mais segura e autónoma possível, reduzindo ou eliminando a direta intervenção humana (ex: motorista, operador de carga), atribuindo-lhes apenas tarefas de supervisão da operação de carga e descarga;
- Tornar o tempo necessário para a carga e descarga independente dos operadores e da disponibilidade de veículos empilhadores;
- Reduzir ou eliminar o esforço físico, as lesões musculares e possíveis erros humanos.

O projeto tem como restrições:

- As dimensões do veículo;
- Peso bruto a transportar;

- Garantir capacidade de carga, tendo em conta o peso da estrutura adicional a implementar a automatização de carga e descarga;
- Acondicionamento da carga devido às condições dinâmicas do veículo e das recomendações do fabricante (referente ao peso por cada eixo permitido), assim como o limite permitido por lei.

A otimização do transelevador terá de ter em conta fatores como o espaço que ocupa, peso adicional (diminuição da carga total útil) que é influenciado direta ou indiretamente pela seleção de perfis para o tipo de esforços que a estrutura adicional terá.

3.2 Caraterísticas do veículo

3.2.1 Legislação em vigor

O Decreto-Lei (DL) 132/2017, de 11 de outubro, transpõe para o direito nacional a Diretiva (UE) 2015/719, de 29 de abril, que aprova o Regulamento que fixa os pesos e as dimensões máximas autorizadas para os veículos em circulação, atualmente em vigor, em substituição do anterior, aprovado pelo DL 99/2005.

Portanto, no capítulo II do DL refere-se que “Dimensões máximas dos veículos para efeito de circulação - Artigo 3º”, estabelecem-se como:

- Comprimento máximo: 12,00 m;
- Largura máxima: 2,55 m;
- Altura máxima: 4,00 m.

Referente ao DL 132/2017 o ponto 9 refere que “Se um veículo pesado de passageiros tiver instalado quaisquer acessórios amovíveis, o comprimento do veículo, incluindo aqueles acessórios, não deve exceder o comprimento máximo (12,00 [m])”.

No capítulo IV - Peso bruto máximo dos veículos:

- a) dois eixos - 19 t;
- b) três eixos - 26 t.

O capítulo VI do DL - “Outras caraterísticas relativas a dimensões e pesos”.

O número 4 do DL refere que “Nos veículos a motor equipados com caixas especiais, nenhuma parte do veículo pode passar além de um plano vertical paralelo à face lateral do mesmo e distando desta 1200 mm quando o veículo descreve uma curva com o ângulo de viragem máximo das rodas diretrizes.”

O número 7 do DL refere que “Todos os acessórios móveis devem ser fixados de forma a evitar que, em caso de oscilação, passem além do contorno envolvente dos veículo”.

Além disso, a adição de equipamentos e acessórios requer uma aprovação prévia pelo IMT,I.P., não podendo afetar a segurança e finalidade do veículo.

3.2.2 Modelo do Veículo Pesado de Mercadorias

No desenvolvimento deste trabalho assumiu-se que o compartimento de carga inteligente a desenvolver se aplicaria a um veículo pesado de mercadorias de marca DAF, modelo FA LF55 19t. Este veículo tem uma capacidade de 19t com carga máxima até 12t de carga útil. Com medidas normalizadas do compartimento de carga mínimas e máximas de:

- Altura [mm]: 2330 + 775 (altura do compartimento + altura do veículo);
- Largura [mm]: 2200 a 2550;
- Comprimento [mm]: $(VA)1375 + (WB)5000 + (AE)2250 = 8625$ TL (dimensão da cabine VA + distância entre eixos WB + distância eixo traseiro ao final do chassis AE - referente ao desenho técnico do veículo A.1.

Resumindo:

- Altura [mm]: 3105 a 4000;
- Largura [mm]: 2200 a 2550;
- Comprimento [mm]: 8625 a 12000.

Para um veículo comum de mercadorias as dimensões usuais para este tipo de compartimentos são 7000x2550x2200 [mm]. No capítulo 4 assume-se a dimensão usualmente utilizada nestes compartimentos (referida anteriormente). Será efetuada uma reflexão sobre as dimensões no compartimento de carga, otimizando-as para um melhor aproveitamento do espaço útil.

Selecionou-se, como caso de estudo, o desenvolvimento de um sistema inteligente para o veículo DAF FA LF55 (figura 3.1). As características e desenhos técnicos encontram-se no anexo A.1). As dimensões e guias para *bodybuilders* (A.3) foram acedidos através dos documentos disponibilizados pela marca podem ser acedidos em <http://www.dafbbi.com/>.

3.2.3 Chassis e Superestrutura

Com o intuito de complementar as dimensões do veículo para futura otimização, tendo em conta o tipo de perfis do chassis e superestrutura a serem selecionados, recorreu-se ao guia para *bodybuilders* [21] cedido pelo fabricante.

⁶Figura disponibilizada em <http://www.daf.com/en/edition-2016>.



Figura 3.1: Representação do veículo DAF modelo FA LF55 ⁶.

No guia é possível obter recomendações de tipos de perfis, materiais e ligações, assim como as normas que lhe servem de base, tendo em conta a escolha do tipo de utilização e carga a que o veículo poderá estar sujeito.

Os perfis e escolhas feitas, tendo como pressupostos o tipo de carga a que o veículo estará sujeito, estão presentes no Anexo A.1 com as suposições sublinhadas no guia que pode ser acedido através da plataforma do fabricante.

Foi efetuada a escolha dos seguintes perfis para o chassis:

- Laterais: 260x75x6 [mm];
- Interiores: 245x60x5 [mm].

O material do chassis é recomendado pelo fabricante [21] como um aço **S460MC** segundo a norma BSEN 10149-2:1996.

3.2.3.1 Superestrutura

A utilização de uma superestrutura permite uma distribuição de carga uniforme, cria uma distância suficiente acima das rodas e outros componentes do chassis (por ex. depósito de combustível, etc.) e permite que se possam montar componentes e/ou unidades adicionais [21].

A superestrutura é considerada, segundo o guia (anexo A.3), para os perfis selecionados e recomendados pelo fabricante. Esta é acoplada ao chassis do veículo tendo em conta a rigidez torsional ao tipo de cargas e utilização do veículo. Torna-se portanto o ponto de ligação entre o chassis e a estrutura exterior que confere a forma do compartimento adequado. A superestrutura encontra-se entre o chassis e a armação do compartimento.

O método de ligação entre o chassis e a superestrutura é enunciado no guia como Body Attachment Method (BAM) (método de fixação da carroçaria) que para o tipo de utilização (com

grua) do veículo será recomendada o BAM 3 - fixação rígida na traseira para o modelo de veículo em questão (LF55). O método está enunciado e verificado no anexo A.4.

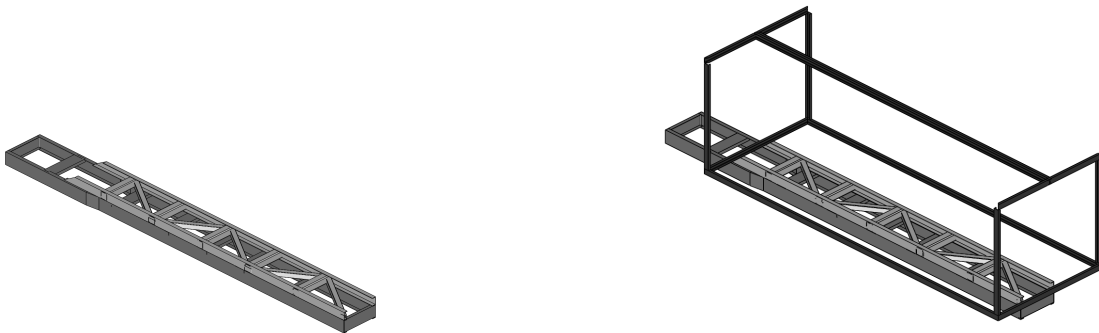
A escolha dos perfis para a superestrutura é a seguinte:

- 180x80x8 [mm];
- U80x50x6 [mm] - subestrutura.

Através do gráfico A e B, disponíveis em Anexo A.4, referentes a guias e a sua posição (frontal ou traseira) e para as cargas solicitadas.

A dimensão do chassis de 250x75x6 e selecionado 70 kNm (correspondendo a 20[kN] (20t) · 3.5[m], valores recomendados para o tipo de carga máxima a uma distância máxima), correspondendo aos perfis recomendados acima.

Para o fabrico da superestrutura selecionou-se o material Fe510D, recomendado segundo a norma EN 10025 (St 52-3 de acordo com DIN 17100) pelo fabricante do veículo. A figura 3.2 ilustra o conjunto chassis, a superestrutura e armação.



(a) Vista isométrica do chassis.

(b) Superestrutura acoplada ao chassis.

Figura 3.2: Representação do chassis e superestrutura.

3.3 Caracterização da carga

A carga proposta para este tipo de veículo, nomeadamente veículos de distribuição de bebidas com sistema porta-a-porta, foi definida para o peso máximo, ou seja, para o pior cenário possível. De referir que os barris de cerveja são o tipo de mercadoria com maior volume e peso, usualmente transportados pelos distribuidores logísticos. Por esta razão é utilizado este tipo de carga no caso de estudo para os capítulos seguintes, no que se refere ao estudo do compartimento e do dimensionamento do sistema inteligente.

O tipo de barris mais comuns na logística de mercadorias de bebidas são os barris de 50 litros (peso aproximado de 63.5kg, incluindo a tara) com as medidas referentes à figura 3.3. Este tipo de distribuição requer a recolha dos barris vazios, tornando necessário a carga e a descarga deste tipo de mercadoria junto do cliente.

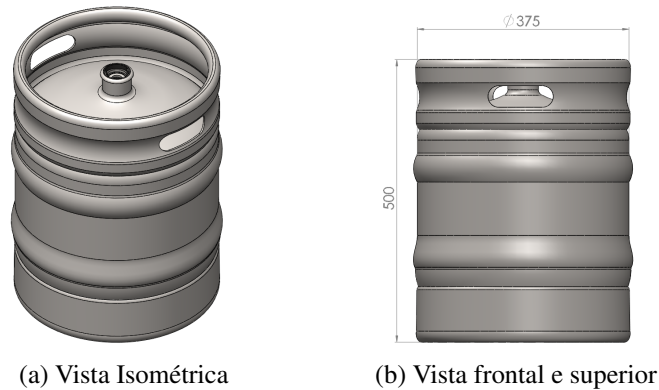


Figura 3.3: Representação de um barril de 50L.

3.3.1 Estivagem da carga

A estivagem da carga e a sua organização, têm vários fatores a ter em conta como: a forma do compartimento, a dinâmica do veículo e o tipo de movimentos do transelevador.

O projeto do transelevador deve ter em conta:

Restrições:

Necessidades:

- Espaço útil utilizado;
- Peso da mercadoria.
- Centro de massa do veículo;
- Otimizar o espaço do compartimento.

O desenvolvimento de um sistema de estivagem autónoma requer a necessidade de sensores e algoritmos que permitam obter informação em tempo real. Com recurso a bases de dados para recolha de informação acerca do espaço livre e decisões para a escolha da colocação da mercadoria, será possível informar o cliente e o operador de todas as tarefas que foram realizadas e as que se encontram pendentes.

3.3.2 Modelo da palete

Para que as cargas a transportar possam ser facilmente manuseadas por diferentes sistemas, foi proposto a utilização de paletes com medidas padronizadas. As paletes *standard* utilizadas na Europa denominam-se de europaletes.

Os modelos de europaletes mais comuns na logística alimentar são as EUR-1 e EUR-6, cujas dimensões se apresentam na figura 3.4. A otimização do sistema de armazenamento com estes modelos de europaletes pode ser efetuada com diferentes configurações possíveis. Este estudo será abordado em maior detalhe no capítulo 4.

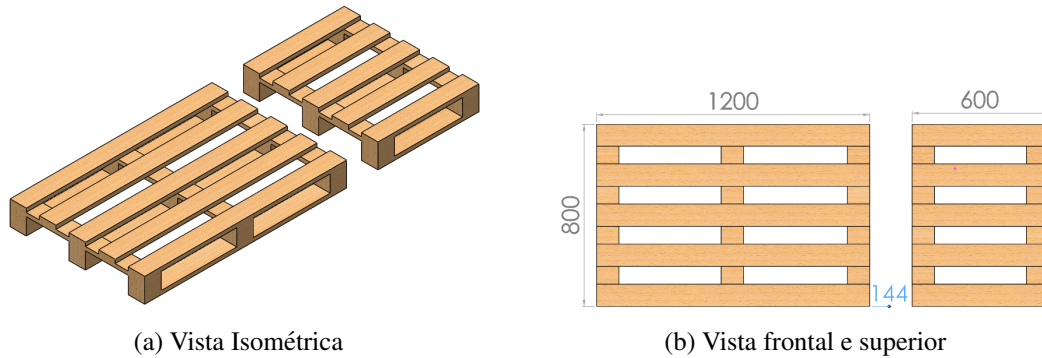


Figura 3.4: Representação da paleta EUR-1 (esquerda) e EUR-6 (direita).

S

3.4 Transelevador

O transelevador é o sistema de transporte automatizado, desenvolvido para a movimentação de carga num armazém. A representação do sistema no conceito do veículo está representado na figura 3.5.

No presente trabalho será dimensionado um transelevador para carga e descarga de produtos acondicionados em paletes de forma automática e/ou tele-operada. Este conceito já existe em armazéns automáticos, como referido na secção 2.2.1.

Considerando o sistema como módulo adicional a qualquer veículo (caraterística modular) este terá que obedecer às seguintes caraterísticas:

Restrições de projeto:

- Espaço ocupado;
- Peso adicional ao veículo.

Necessidades de projeto:

- Suportar o peso da mercadoria;
- Posição (x,y,z) (carga e descarga);
- Identificar respetivas cargas (peso, posição);
- Espaços livres vs utilizados.

O transelevador é composto por um braço robótico para manipulação de carga em paletes. Para se movimentar em torno do veículo, o braço encontra-se acoplado a um sistema de translação fixo no topo do compartimento de carga do veículo.

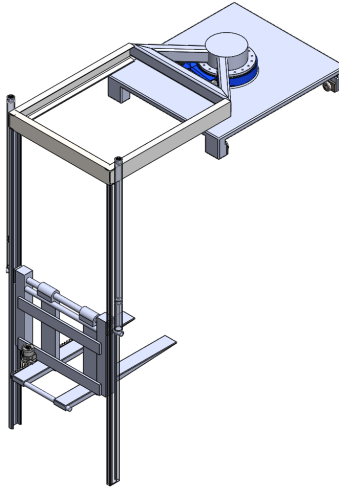


Figura 3.5: Vista isométrica do transelevador.

O seu desenvolvimento consiste no projeto de equipamento com uma componente estrutural e integração de alguns sistemas já existentes no mercado. O modo inteligente surge pela capacidade autónoma de carga e descarga do veículo. Os modelos sugeridos encontram-se na secção 4.4 que refere diferentes transelevadores dependendo do seu modo de atuação.

3.5 Segurança

Para se operar com o equipamento em segurança deve-se ter em conta os seguintes pressupostos:

- O veículo deve estar imobilizado;
- O veículo deve encontrar-se num plano com inclinação reduzida;
- O utilizador deve supervisionar o funcionamento autónomo do equipamento.

Na deslocação do robô não deve existir nenhum elemento que interfira o seu funcionamento. Para reduzir este tipo de riscos devem ser tomadas várias suposições:

- O utilizador tem de se certificar, previamente, que o espaço de trabalho onde se encontra, está devidamente desimpedido de obstáculos;
- As paletes devem estar em bom estado;
- A acomodação da carga deve ser a adequada.

O transelevador está equipado com sensores para aviso ao supervisor de:

- Obstáculos no percurso;
- Palletes com peso excessivo;
- Inclinação excessiva.

3.6 Manutenção

O intuito de abordar os aspetos relacionados com a manutenção, existem questões a ter em conta aquando da escolha dos sistemas existentes para o dimensionamento do módulo de transelevador. Tratando-se de um desenvolvimento do conceito, a possibilidade de ter um plano de manutenção foi posto em causa de modo a evitar possíveis constrangimentos ao bom funcionamento do equipamento. Contudo, o plano de manutenção será trabalho a ser desenvolvido no futuro. Não descurando a inspeção dos sistemas de acionamento mecânicos e respetiva limpeza dos carris (referente ao sistema utilizado para movimentação de translação).

O produto deve ser desenvolvido de modo a otimizar a segurança do utilizador e, em caso de falha, permitir uma resolução que deverá ser simples e imediata.

3.7 Conceito de produto e serviço

Nesta secção é abordado, o conceito do novo produto e serviço é proposto, com recurso a figuras, esquemas assim como uma breve descrição que ajude a compreender o funcionamento do módulo do transelevador.

3.7.1 Conceito de produto

Este trabalho apresenta o conceito de um veículo de distribuição inteligente contendo um transelevador composto por um braço robótico com garfos para movimentação de cargas (6,7,8,20,25 da figura 3.6 e 3.7), com um sistema de translação acoplado (11,12,13,14,18) e um sistema inteligente associado a sensores e atuadores (21) que permitem que o módulo funcione de modo autónomo.

O conceito de produto proposto tem como base a automação de um armazém automático na ajuda à organização e distribuição de produtos dentro de um veículo. Além disso, também poderá ser um módulo possível de aplicar a qualquer veículo com as características atrás descritas.

A organização dos produtos é efetuada autonomamente pelo transelevador tendo em conta variáveis como o peso e tamanho para otimização do tempo de carga e descarga, assim como a estivagem da carga é efetuada o mais uniforme possível. A capacidade não deve ser afetada pelos componentes adicionais.

O transelevador tem a capacidade de aceder a todo o compartimento de carga através do sistema de translação e rotação.

As figuras 3.6 e 3.7 correspondem à representação do conceito, com recurso ao *software Solidworks* e com os componentes referidos ao longo do projeto.

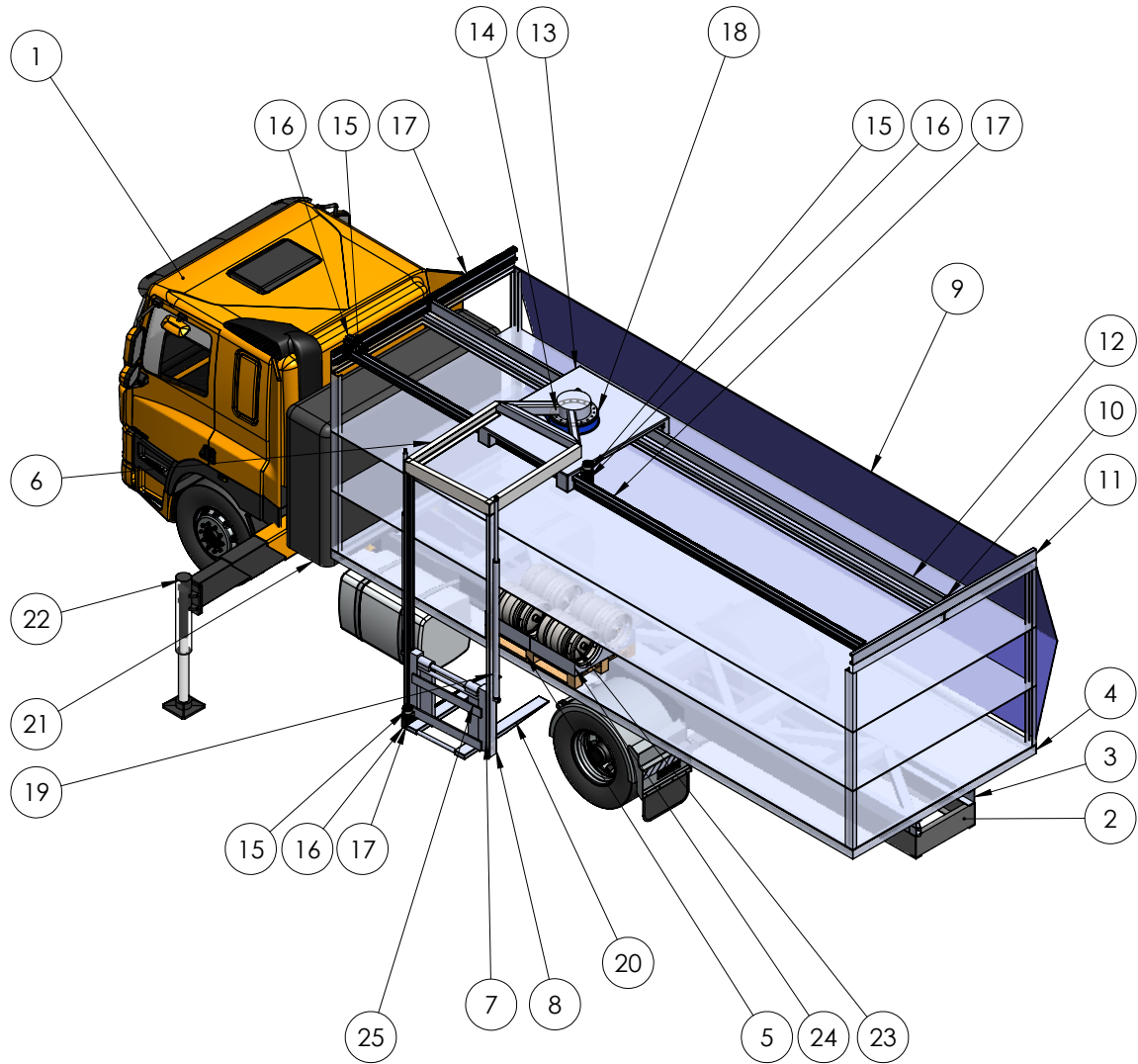


Figura 3.6: Representação do conceito final.

O elemento 1, referente à cabine DAF foi retirado do site <https://grabcad.com/library/daf-cf85-1> do utilizador "Damo Petty", devidamente modificado a nível de chassis, correspondendo ao chassis e superestrutura (2) enunciados na secção 3.2.3 e 3.2.3.1.

O elemento 22, referente aos estabilizadores do veículo, foi retirado do site <https://grabcad.com/library/crane-outrigger-1> do utilizador "Ivo Jardim".

O elemento 23, referente ao barril de 50 litros, foi retirado do site <https://grabcad.com/library/euro-keg-50l-1> do utilizador "Riddick".

ITEM NO		Descrição	Quant.
1	Veículo DAF	LF 55 19T	1
2	Chassis	Dimensionado segundo as recomendações do fabricante	1
3	Superestrutura	Dimensionado segundo as recomendações do fabricante	1
4	Armação estrutural do compartimento	Com base nas dimensões propostas	1
5	Palete EUR-1	Capacidade do compartimento para 51 paletes	1
6	Vigas com Perfil UPE80	Vigas do sistema de translação	3
7	HVB-055	Rolamento para o perfil HVR-1	4
8	HVR-1-3250	Perfil da "viga tipo carril"	1
9	Painel em asal	Painel lateral retrátil em asa	2
10	HVB-056	Rolamento para perfil HVR-2 e T.002	8
11	Vigas com perfil HVR-2-2460	Perfil da viga das laterais do sistema de translação	2
12	Vigas com perfil HVR-2-7000	Perfil da viga de topo do sistema de translação	2
13	Suporte móvel T.002	Ligação entre o Rolamento Slew e o sistema de translação	1
14	Junta de rotação T.001	Ligação entre o Rolamento Slew e o Transelevador	1
15	Motor Hidráulico	Acionamento do sistema para movimentação linear	3
16	Pinhão	Sistema proposto para movimentação linear	3
17	Cremalheira	Sistema proposto para movimentação linear	3
18	Rolamento slew	WD-L0343-3-04557-e	1
19	Cilindro Hidráulico	Acionamento para ascensão do transelevador	2
20	Garfos móveis	Sistema proposto para carga e descarga	2
21	"Blackbox" - Caixa negra	Espaço reservado para sistemas hidráulicos e de controlo	1
22	Estabilizadores	Para maior estabilidade e controlo durante a operação	2
23	Barril 50 litros	Capacidade do compartimento para 306 barris	4
24	Acessório P.001	Acessório para a palete com capacidade de suportar 2 barris na horizontal	2
25	Acessório T.003	Acessório que suporta os garfos móveis	1

Figura 3.7: Numeração e Lista de itens do conceito final.

3.7.2 Conceito de serviço

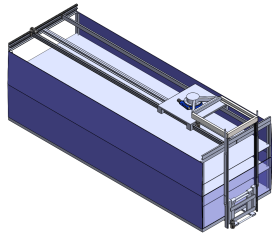
O conceito de serviço apresentado nesta secção para a utilização do novo produto desenvolvido (sistema de armazém inteligente) trás uma melhoria na segurança e rapidez da carga e descarga de mercadoria. Enquanto o sistema tradicional requer utilizadores experientes em

estivagem da carga e para o manuseamento de empilhadores, o sistema automático capaz de gerir a carga dentro do próprio compartimento, fazendo com que o utilizador apenas tenha de supervisionar o seu correto funcionamento. Este novo conceito tem o objetivo de tornar as entregas de mercadoria mais seguras, pelo facto de o utilizador não ter que usar força muscular ou depender da disponibilidade de empilhadores, e pela rapidez da carga e descarga, por este reconhecer atempadamente a mercadoria a ser entregue no local.

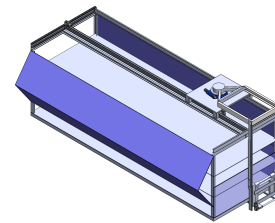
A figura 3.7 apresenta um sistema *Human Machine Interaction* (HMI) para comunicação com o utilizador. Esta operação é autónoma até o utilizador cancelar a operação ou definir o modo manual para efetuar movimentos que não estariam previstos.

Sequência de acontecimentos

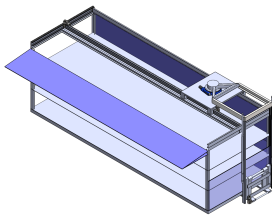
A posição inicial do sistema encontra-se representada na figura 3.8 (a) nº1. Quando o veículo chega ao local pré-definido para entrega e recolha de mercadoria o utilizador dá início à sua operação. Para abrir a porta em asa, o transelevador efetua, automaticamente, os movimentos representados na figura 3.8. De notar que o transelevador se encontra numa posição (esquerda ou direita, dependendo da porta que se pretende abrir) que permite que a porta em asa abra, permitindo que os diferentes sistemas funcionem sem haver colisões.



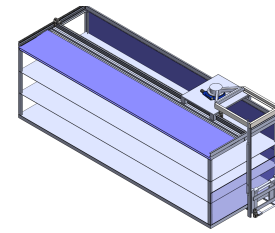
(a) nº1 - Posição inicial do transelevador.



(b) nº2 - Início da abertura da porta em asa.



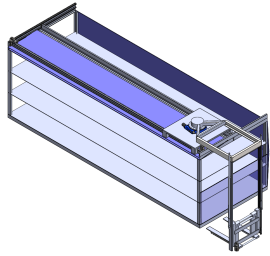
(c) nº3 - Porta em asa retrátil.



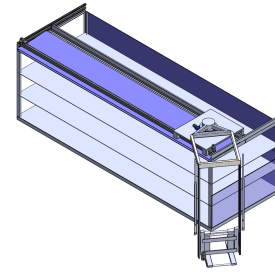
(d) nº4 - Concluído o processo de abertura da porta.

Figura 3.8: Sequência de movimentos - Porta em asa.

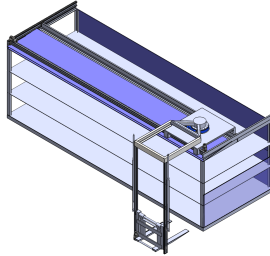
A figura 3.9 representa o movimento linear e de rotação realizado pelo braço robótico, ao longo do sistema de translação, para contornar o compartimento de um lado para o outro. Os dois sistemas são independentes e não provocam qualquer tipo de colisão se acionados em tempos diferentes.



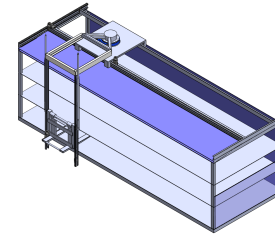
(a) nº5 - Translação do transelevador.



(b) nº6 - Rotação do transelevador.



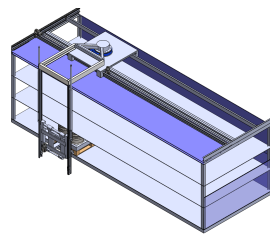
(c) nº7 - Movimentos combinados até ao ponto de preferência.



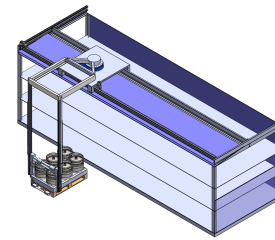
(d) nº8 - Movimento de translação e garfos móveis.

Figura 3.9: Sequência de movimentos - Rotação e translação do sistema.

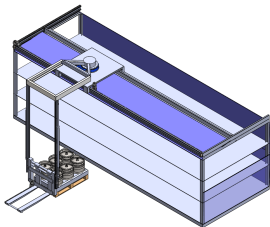
O transelevador procede à descarga da mercadoria definida para o local. A figura 3.10 representa os movimentos lineares do transelevador para descarregar a palete até ao solo ou até à posição definida para descarga. O sistema de garfos móveis é definido na secção 5.2.



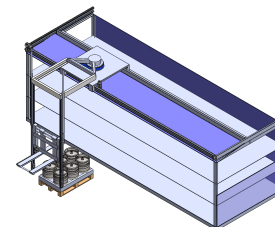
(a) nº1 - Transelevador e *picking* da mercadoria.



(b) nº2 - Movimento da mercadoria.



(c) nº3 - Mercadoria na posição de descarga e garfos móveis recuados.



(d) nº4 - Ascensão do transelevador.

Figura 3.10: Descarga da palete do compartimento.

Para o processo de carga é o processo contrário. O transelevador obterá as informações acerca da mercadoria quando, através de sensores que determinem o peso, decidir a posição da mercadoria dentro do compartimento. Toda esta informação será registada numa base de dados para que o utilizador tenha acesso e possa verificar se as mercadorias que foram carregadas e descarregadas.

Capítulo 4

Estudo e otimização da estivagem de carga

Neste capítulo é apresentado o estudo de organização da distribuição da carga dentro do compartimento. Este estudo consiste na aplicação de vários métodos e análise de resultados com o objetivo de determinar a combinação que permite obter maior número de paletes dentro do compartimento do veículo.

Após a definição do veículo (secção 3.2), realiza-se, inicialmente, o estudo de um sistema de armazenamento incorporado num compartimento com 7000x2200x2550 [mm] (figura 4.1). O estudo a realizar prevê a otimização deste espaço de carga, considerando diferentes disposições e dimensões de paletes.

A figura 4.1 representa, em vista isométrica, a estrutura do compartimento proposta inicialmente, com respetivas dimensões.

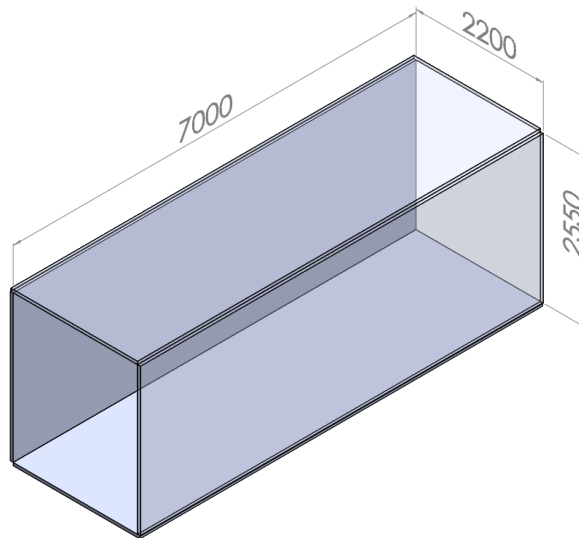


Figura 4.1: Configuração da caixa do veículo onde se prevê instalar o sistema automático (vista isométrica).

Tendo em conta o espaço disponível para carga, a forma de distribuir as paletes depende do modo como estas se organizam. Um maior aproveitamento do espaço significará uma poupança significativa de viagens para a entrega da mercadoria.

Assim, o estudo da organização do compartimento consiste num problema de otimização, recorrente da logística (veículos e armazenagem). Segundo Savic et al. [22] é considerado um problema NP-Hard (*nondeterministic polynomial time*), onde o tempo para encontrar a solução cresce exponencialmente com o tamanho do problema. Ainda não existe conhecimento de um algoritmo polinomial capaz de resolver o problema. Também chamado de "two-dimensional packing problem" onde caixas ou paletes, de tamanhos idênticos sejam carregadas dentro de um compartimento ou veículo de carga, sem restrições em relação ao peso, densidade e fragilidade.

Neste capítulo são apresentadas duas abordagens para a resolução deste problema: Empírica (secção 4.1, cuja organização é realizada através da experiência e observação, e Heurística (secção 4.2), em que são utilizados algoritmos de otimização para obter uma solução.

4.1 Método Empírico

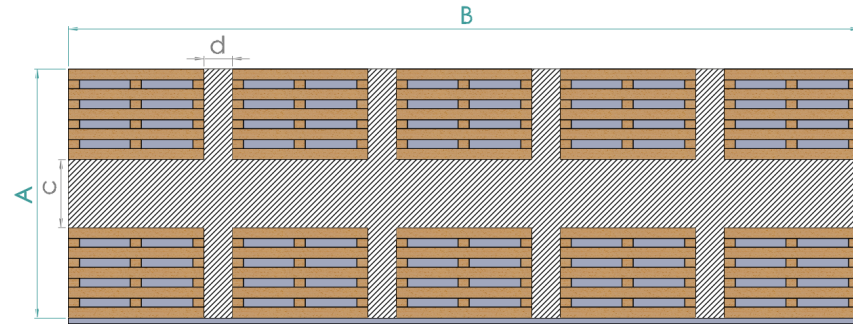
A abordagem empírica tem como objetivo obter a maior percentagem de espaço ocupado possível, armazenando o maior número de paletes possíveis dentro do compartimento a partir da observação humana.

Deste modo, a partir das dimensões do compartimento e das paletes EUR-1 e EUR-6 são analisadas diferentes formas de as carregar/descarregar e organizar, tendo em conta a observação da sua disposição em modelos CAD realizados em *SolidWorks*.

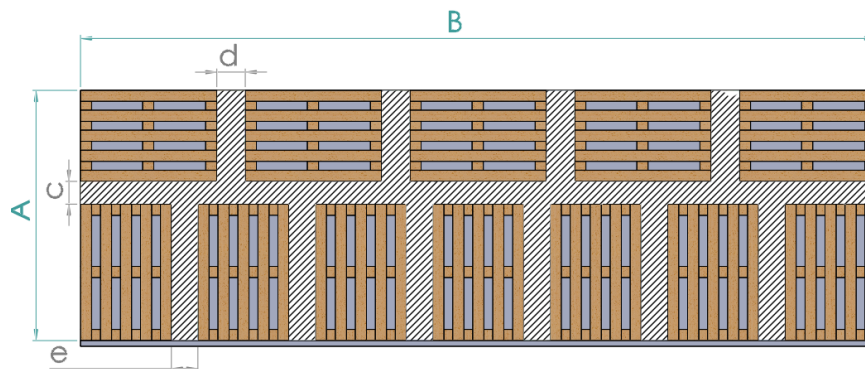
As paletes são consideradas apenas ortogonais e horizontais ao plano do chão do compartimento do veículo. As figuras 4.2 e 4.3 apresentam diferentes combinações da disposição das paletes EUR-1 e EUR-6, respetivamente, cujas dimensões são as seguintes:

- Largura do compartimento - Cota **A** : 2200 [mm];
- Comprimento do compartimento - Cota **B** : 7000 [mm];
- Largura da paleta - **w** : 800 [mm];
- Comprimento da paleta EUR-1 - l_1 : 1200 [mm];
- Comprimento da paleta EUR-6 - l_2 : 600 [mm];
- A cota **c** é a distância entre as paletes no sentido transversal;
- As cotas **d** e **e** são a distância entre paletes no sentido longitudinal.

Configuração 1 e 2



(a) Distribuição horizontal - 10 paletes EUR-1.



(b) Distribuição horizontal e vertical - 12 paletes EUR-1.

Figura 4.2: Organização do compartimento utilizando paletes EUR-1.

Tendo em conta a figura 4.2 e os valores da tabela 4.1, esta foi a primeira tentativa para o uso da palleta **EUR-1**, no intuito de prevalecer a mais usada em distribuição. Neste estudo não foi possível adicionar duas linhas de paletes na vertical, paralelas, dada a largura das mesmas. No entanto, é possível colocar duas linhas na horizontal, obtendo-se um resultado máximo de 10 paletes EUR-1 (figura 4.2 (a)).

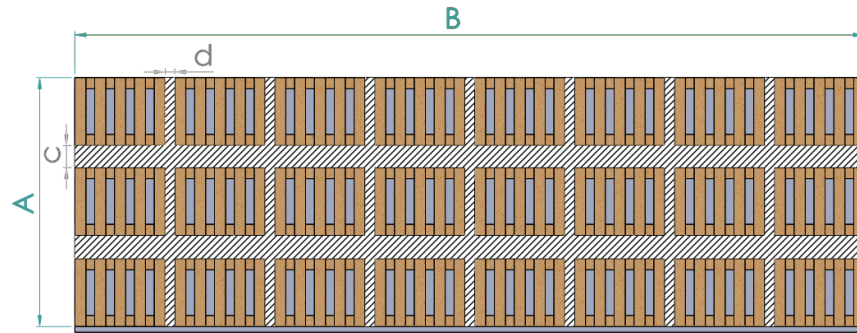
Analisando uma nova disposição, é possível observar na figura 4.2 (b) que organizar as paletes na horizontal e vertical torna possível adicionar mais duas (2) no compartimento.

Na tabela 4.1 é possível observar os resultados referentes à abordagem empírica com paletes EUR-1.

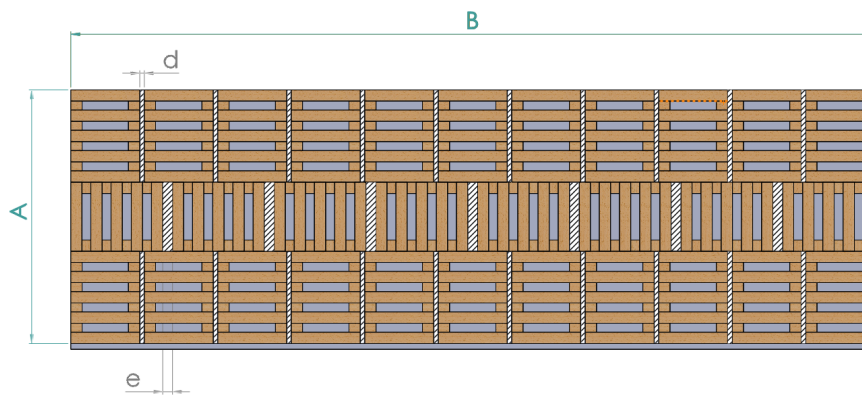
Config.	Total [paletes]	c[mm]	d[mm]	e[mm]	Área não utilizada [m^2]
1	10 (EUR-1)	600	250	n.d.	$(c * B + 8 * (d * w)) = 5.8$
2	12 (EUR-1)	200	250	233.5	$(c * B + 4 * (d * w) + 6 * (e * l_1)) = 3.88$

Tabela 4.1: Descrição referente à figura 4.2 do método empírico.

Configuração 3 e 4



(a) Distribuição horizontal - 24 paletes EUR-6.



(b) Distribuição horizontal e vertical - 30 paletes EUR-6.

Figura 4.3: Organização do compartimento utilizando paletes EUR-6.

A utilização de paletes **EUR-6** permite obter mais combinações de disposições no compartimento. A figura 4.3 representa duas possibilidades de arrumação da carga e a tabela 4.2 permite observar os resultados obtidos.

Analisando os dados da tabela 4.2 é possível observar que na configuração 3, idêntica à configuração 1, consegue-se ter a mesma área útil que a configuração 2. Na configuração 4, em comparação com a configuração 1 (com EUR-1), é possível compactar mais carga, conseguindo-se mais área útil ocupada. A quantidade de paletes é significativamente maior que a configuração 3.

Config.	Total [paletes]	c[mm]	d[mm]	e[mm]	Área não utilizada [m^2]
3	24 (EUR-6)	200	87.5	n.d.	$(2 * (c * B) + 21 * (d * l_2)) = 3.90$
4	30 (EUR-6)	n.d.	40	85.71	$(20 * (d * w) + 7 * (e * l_2)) = 0.99$

Tabela 4.2: Análise do espaço do compartimento utilizando a combinação apresentada na figura 4.3.

4.2 Método Heurístico

Esta secção pretende apresentar um método de otimização do compartimento utilizando uma abordagem heurística proposta por Birgin et al. [23].

Após provar os resultados dos seus algoritmos através de demonstrações práticas, este autor propôs um algoritmo para obter resultados aproximados (heurísticos) a qual será a solução ótima da quantidade (N) de caixas (l, w) dentro de um retângulo (L, W). Este problema é idêntico ao abordado neste tema, sendo que as caixas são consideradas paletes organizadas dentro de um espaço retangular que é o compartimento do armazém.

Este algoritmo tem as seguintes restrições:

- As caixas são fixas na orientação horizontal;
- Ser colocadas ortogonalmente;
- Só é permitida rotação de 90-graus;
- $L \geq W$ e $l \geq w$.

Birgin et al. [23] assumiu que $L \geq W$ e $l \geq w$. L e l refere-se ao comprimento do espaço livre e da caixa, respetivamente, enquanto, W e w correspondem às suas larguras. No limite estas dimensões podem ser iguais, se o compartimento e/ou as caixas forem quadradas.

O número de caixas N é representado por (x_i, y_i, o_i) , $i = 1, \dots, N$, onde (x_i, y_i) corresponde à coordenada do canto inferior-esquerdo da "caixa". Quando $o_i = HORIZONTAL$ significa que a caixa não é rodada, enquanto $o_i = VERTICAL$ corresponde a uma rotação de 90-graus. A carga não se sobrepõe e deve ser interior aos contornos da paleta.

O método começa por executar o algoritmo *Five-Block Recursive* adotado pelos autores Birgin et al. [23], com o objetivo de encontrar um resultado considerado ótimo. Não encontrado este resultado, o segundo algoritmo *L-Approach* é executado no intuito de lidar com um número maior de iterações. Ao conjunto destes dois algoritmos denomina-se algoritmo *Recursive Partitioning Approach*.

A informação da primeira fase é ainda usada pelo segundo algoritmo onde os sub-problemas gerados pelo primeiro algoritmo também poderão ser gerados pelo segundo. Se esta situação se gerar, o limite máximo e mínimo do resultado do primeiro algoritmo é usado pelo segundo.

O algoritmo **Recursive Five-Block** divide o retângulo em cinco (ou menos) partes retangulares numa ordem chamada primeira-ordem por corte não-guilhotina.

A figura 4.4 representa um quadruple (x_1, x_2, y_1, y_2) , onde cada um dos retângulos que o circunscreve é recursivamente cortado até encontrar uma solução ótima (maior número de paletes no compartimento) ou até atingir o limite imposto na recursão (um parâmetro imposto pelo método definido por N iterações).

Um dos métodos de refinamento ao algoritmo, segundo os autores Birgin et al. [23], foi reduzir a diferença entre o limite máximo e mínimo do número de caixas que podem ser inseridas.

O algoritmo **L-Approach**, na segunda fase, é baseado na computação da fórmula recursiva de programação dinâmica que trata de inúmeros problemas. Este baseia-se em encontrar duas subdivisões de peças com formato em L e se estas forem iguais então obtém-se a solução ótima, como representado na figura 4.5.

O algoritmo *Recursive Partitioning Approach* recorre a uma tabela que perfaz qual das fases (fase 1 e fase 2) permite obter a solução mais aproximada da solução ótima.

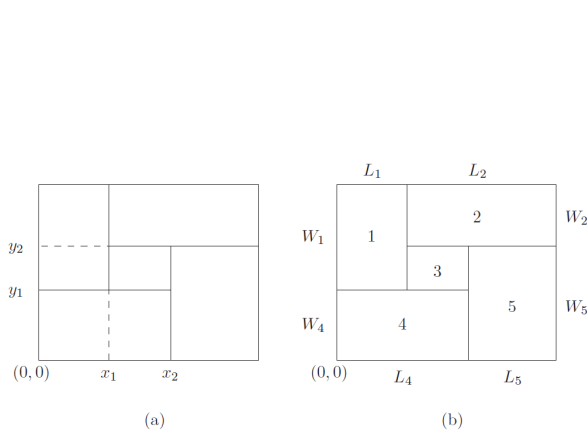


Figura 4.4: Recursive Five Block, divisão em cinco blocos [23].

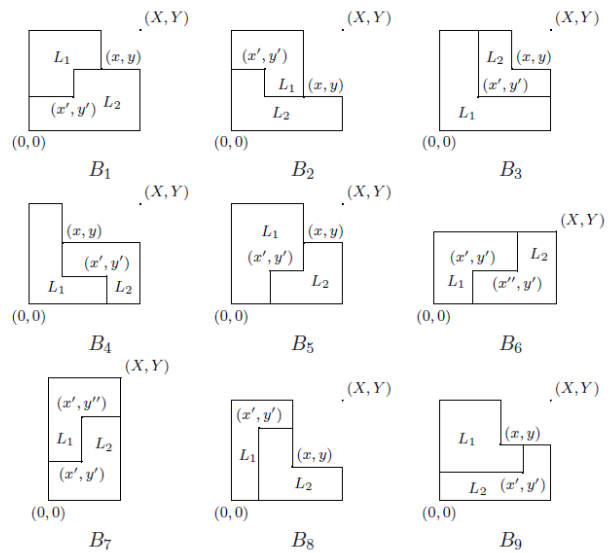


Figura 4.5: Subdivisões da forma em L [23].

Assim, para aplicar o algoritmo com o objetivo de maximizar o número de paletes no compartimento foram consideradas as seguintes dimensões:

- Largura do compartimento - Cota W : 2200 [mm];
- Comprimento do compartimento - Cota L : 7000 [mm];
- Largura da palete : w - 800 [mm];
- Comprimento da palete EUR-1 - l_1 : 1200 [mm];
- Comprimento da palete EUR-6 - l_2 : 600 [mm].

Os algoritmos representados pela figura 4.6 e 4.7, denominados por *Algorithm 2* e *Algorithm 3* referem-se aos algoritmos refinados pelos autores Birgin et al. [23] do próprio artigo.

Algorithm 2: Improved version of the recursive five-block heuristic. This pseudo-code, together with the pseudo-code of routine SOLVE below, include all the improvements described in the present work.

Input: $L, W, l, w, n \in \mathbb{Z}$.

Output: Number of (l, w) -boxes packed within the (L, W) -pallet.

RECURSIVE-BD2(L, W, l, w, n)

```

1 begin
2   if  $W > L$  then
3     SWAP( $L, W$ )
4      $z_{lb} \leftarrow \text{lowerBound}[I_L, J_W]$ 
5      $z_{ub} \leftarrow \text{upperBound}[I_L, J_W]$ 
6      $\text{reachedLimit}[I_L, J_W] \leftarrow \text{false}$ 
7     if  $z_{lb} = z_{ub}$  then
8       return  $z_{lb}$ 
9     Build sets  $R_L$  and  $R_W$  for  $(L, W, l, w)$ 
10    foreach  $x_1 \in R_L$  such that  $x_1 \leq \lfloor \frac{L}{2} \rfloor$  do
11      foreach  $x_2 \in R_L$  such that  $x_1 < x_2$  and  $x_1 + x_2 \leq L$  do
12        foreach  $y_1 \in R_W$  such that  $y_1 < W$  do
13          foreach  $y_2 \in R_W$  such that  $y_1 < y_2$  and  $y_1 + y_2 \leq W$  do
14            if  $\neg(x_1 + x_2 = L \text{ and } y_1 + y_2 > W)$  then
15              Compute  $(L_i, W_i)$  for  $i = 1, \dots, 5$ 
16               $\mathcal{P} \leftarrow \{(L_1, W_1), \dots, (L_5, W_5)\}$ 
17               $z_{lb} \leftarrow \max\{z_{lb}, \text{SOLVE}(L, W, n, z_{lb}, \mathcal{P})\}$ 
18              if  $z_{lb} = z_{ub}$  then
19                return  $z_{lb}$ 
20          foreach  $x_1 \in R_L$  such that  $x_1 \leq \lfloor \frac{L}{2} \rfloor$  do
21             $x_2 \leftarrow x_1$     $y_1 \leftarrow 0$     $y_2 \leftarrow 0$ 
22            Compute  $(L_1, W_1)$  and  $(L_2, W_2)$ 
23             $\mathcal{P} \leftarrow \{(L_1, W_1), (L_2, W_2)\}$ 
24             $z_{lb} \leftarrow \max\{z_{lb}, \text{SOLVE}(L, W, n, z_{lb}, \mathcal{P})\}$ 
25            if  $z_{lb} = z_{ub}$  then
26              return  $z_{lb}$ 
27          foreach  $y_1 \in R_W$  such that  $y_1 \leq \lfloor \frac{W}{2} \rfloor$  do
28             $y_2 \leftarrow y_1$     $x_1 \leftarrow 0$     $x_2 \leftarrow 0$ 
29            Compute  $(L_2, W_2)$  and  $(L_5, W_5)$ 
30             $\mathcal{P} \leftarrow \{(L_2, W_2), (L_5, W_5)\}$ 
31             $z_{lb} \leftarrow \max\{z_{lb}, \text{SOLVE}(L, W, n, z_{lb}, \mathcal{P})\}$ 
32            if  $z_{lb} = z_{ub}$  then
33              return  $z_{lb}$ 
34    return  $z_{lb}$ 
35 end

```

Algorithm 3: Subroutine SOLVE used by the improved recursive five-block heuristic.

```
SOLVE( $L, W, n, z_{lb}, \mathcal{P}$ )
1 begin
2    $z_{ub} \leftarrow upperBound[I_L, J_W]$ 
3   for  $i \leftarrow 1$  to  $|\mathcal{P}|$  do
4      $z_{lb}^i \leftarrow lowerBound[I_{L_i}, J_{W_i}]$ 
5      $z_{ub}^i \leftarrow upperBound[I_{L_i}, J_{W_i}]$ 
6    $S_{lb} \leftarrow \sum_{i=1}^{|\mathcal{P}|} z_{lb}^i$ 
7    $S_{ub} \leftarrow \sum_{i=1}^{|\mathcal{P}|} z_{ub}^i$ 
8   if  $n < N$  then
9     if  $z_{lb} < S_{ub}$  then
10      for  $i \leftarrow 1$  to  $|\mathcal{P}|$  do
11        if  $depth[I_{L_i}, J_{W_i}] > n$  and  $reachedLimit[I_{L_i}, J_{W_i}]$  then
12           $z_i \leftarrow \text{RECURSIVE-BD2}(L_i, W_i, l, w, n + 1)$ 
13           $lowerBound[I_{L_i}, J_{W_i}] \leftarrow z_i$ 
14           $depth[I_{L_i}, J_{W_i}] \leftarrow n$ 
15          if  $\neg reachedLimit[I_{L_i}, J_{W_i}]$  then
16             $upperBound[I_{L_i}, J_{W_i}] \leftarrow z_i$ 
17        else
18           $z_i \leftarrow lowerBound[I_{L_i}, J_{W_i}]$ 
19        if  $reachedLimit[I_{L_i}, J_{W_i}]$  then
20           $reachedLimit[I_L, J_W] \leftarrow \text{true}$ 
21         $S_{lb} \leftarrow S_{lb} + z_i - z_{lb}^i$ 
22         $S_{ub} \leftarrow S_{ub} + z_i - z_{ub}^i$ 
23        if  $z_{lb} \geq S_{ub}$  then
24          return  $z_{lb}$ 
25        if  $S_{lb} > z_{lb}$  then
26           $z_{lb} \leftarrow S_{lb}$ 
27        if  $z_{lb} = z_{ub}$  then
28           $reachedLimit[I_L, J_W] \leftarrow \text{false}$ 
29          return  $z_{lb}$ 
30      else
31         $reachedLimit[I_L, J_W] \leftarrow \text{true}$ 
32      if  $S_{lb} > z_{lb}$  then
33         $z_{lb} \leftarrow S_{lb}$ 
34      if  $z_{lb} = z_{ub}$  then
35         $reachedLimit[I_L, J_W] \leftarrow \text{false}$ 
36        return  $z_{lb}$ 
37    return  $z_{lb}$ 
38 end
```

Com recurso ao algoritmo disponibilizado por Birgin et al. [23], correspondente ao pseudocódigo nas figuras 4.6 e 4.7, foi possível encontrar as soluções aproximadas para as diferentes formas de palete (EUR-1 e EUR-6).

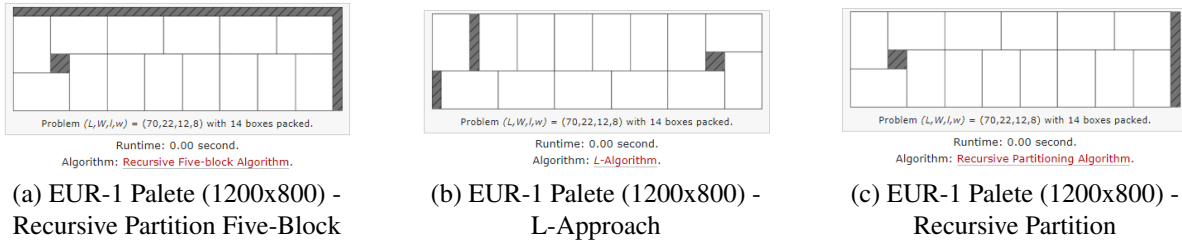


Figura 4.8: Disposição das paletes EUR-1 obtida pelo algoritmo da figura 4.6. ⁷

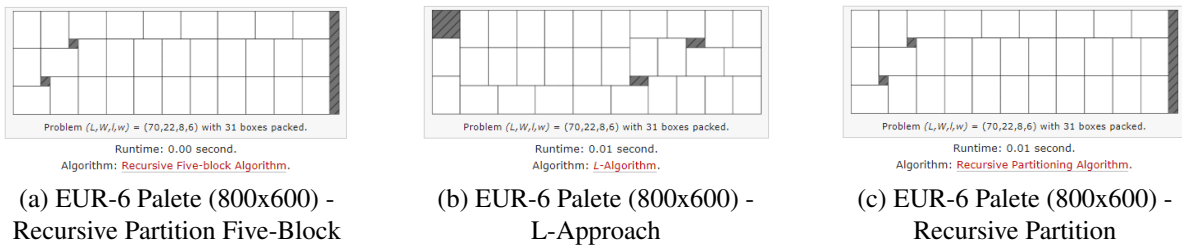


Figura 4.9: Disposição das paletes EUR-6 obtida pelo algoritmo da figura 4.6. ⁷

Os resultados representados nas figuras 4.8 e 4.9 apresentam as disposições ótimas para os diferentes tipos de palete.

O algoritmo *Recursive Partition Five-Block* (a) é idêntico ao algoritmo *Recursive Partition Approach*, *Recursive Partition* (c), pela complexidade do problema não ser considerável, obtendo a solução ótima logo na primeira fase, como explicado na secção 4.2.

Tabela 4.3: Descrição referente à figura 4.10, método heurístico.

Config.	Total [paletes]	Área não utilizada [m^2]
(a)	14 (EUR-1)	$(6.8 * 0.2 + 0.4 * 0.4 + 0.2 * 2.2) = 1.96$
(b)	14 (EUR-1)	$(0.2 * 1.2 + 0.2 * 1 + 6.8 * 0.2 + 0.4 * 0.4) = 1.96$
(c)	31 (EUR-6)	$(2 * (0.2 * 0.2) + 2.2 * 0.2) = 0.52$
(d)	31 (EUR-6)	$(2 * (0.4 * 0.2) + 0.6 * 0.6) = 0.52$

Para comparar os resultados do método heurístico com o empírico, as representações obtidas pelo algoritmo para distribuição das paletes foram replicadas num software de CAD (*Solidwoks*)

⁷O algoritmo foi implementado através da ferramenta em C/C++ disponibilizada em <http://lagrange.ime.usp.br/lobato/packing/> pelos autores [23].

para obter as áreas determinadas pelos quadrados em branco. A figura 4.10 apresenta os resultados de distribuição das paletes representados na figura 4.8 (a), (c) e na figura 4.9 (a), (c).

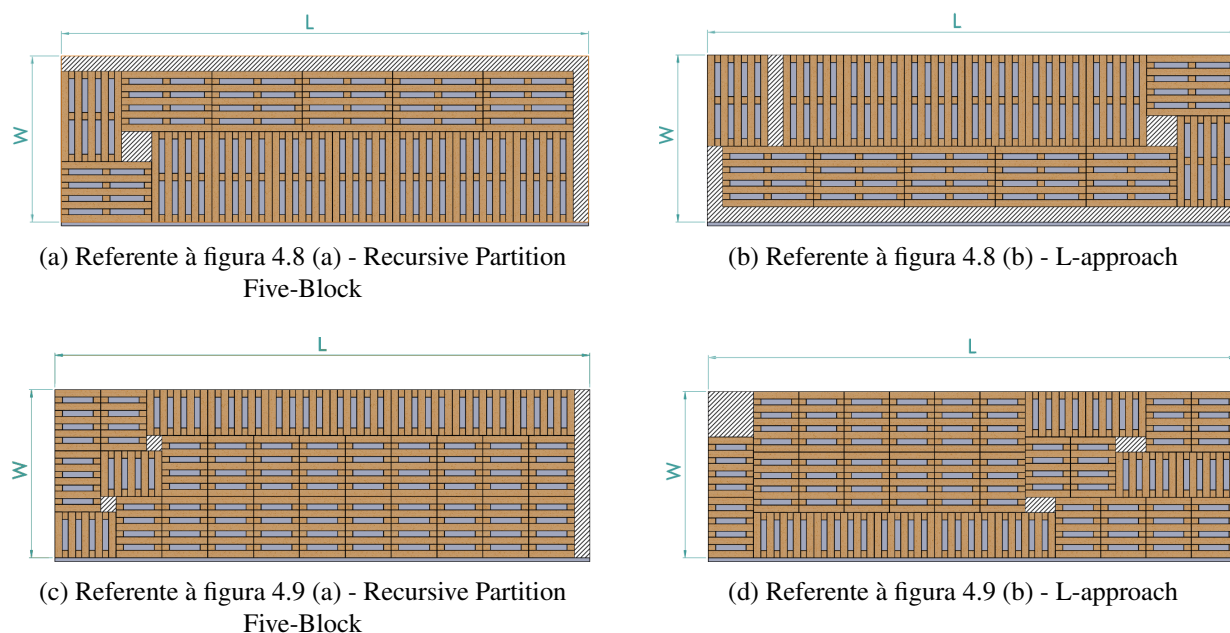


Figura 4.10: Disposições das paletes EUR-1 e EUR-6 obtidas pelo método heurístico.

A tabela 4.4 compara os resultados obtidos pelos métodos empírico e heurístico. Na análise dos resultados é possível observar a diferença entre os dois diferentes métodos para a distribuição de paletes.

A abordagem heurística reflete uma otimização de espaço considerável em relação à empírica. Num contexto real, o método heurístico tornar-se-ia menos prático pela disposição aparente das paletes, no sentido da carga/descarga da paleta.

Tabela 4.4: Comparação entre os métodos empírico e heurístico.

Método	Tipo	Figura	Nº Paletes	Área não utilizada [m^2]	Espaço ocupado[%]
Empírico	EUR-1	4.2	12	3.88	74.81
Heurístico	EUR-1	4.10 (a)	14	1.96	87.27
Empírico	EUR-6	4.3	30	0.99	93.57
Heurístico	EUR-6	4.10 (c)	31	0.52	96.62

Na secção seguinte (4.3) será realizado um refinamento do projeto com o objetivo de obter uma melhor disposição das paletes e um maior aproveitamento do espaço útil, utilizando este algoritmo.

4.3 Otimização da estivagem com refinamento do projeto

Na procura de uma melhor solução para a distribuição da arrumação foram analisadas as várias dimensões e chegou-se à conclusão que a largura do compartimento do veículo poderia ser alterada, mantendo-se dentro das restrições previstas no Decreto-Lei referente à secção 3.2. O valor máximo poderá chegar até aos 2460mm (interiores) (perfazendo o máximo de 2550 exteriores) para o típico veículo de distribuição de mercadorias.

Sendo assim, numa primeira abordagem, o algoritmo descrito na secção 4.2 foi utilizado para realizar um novo estudo que permitisse obter um maior número de paletes dentro de um compartimento com 7000x**2460**x2550 [mm] (a negrito apresenta-se a alteração realizada) e com uma melhor organização.

Assim, considerando o novo valor de W - 2460 [mm], obtém-se novas configurações para as paletes EUR-1 e EUR-6, conforme se pode observar na figura 4.11 e 4.12, respetivamente.

Analisando as figuras 4.11 e 4.12, as subfiguras (a) e (b) apresentam resultados correspondentes ao método empírico e as subfiguras (c) ao método *Recursive Partition Approach*, obtido através do algoritmo referido na secção 4.2.

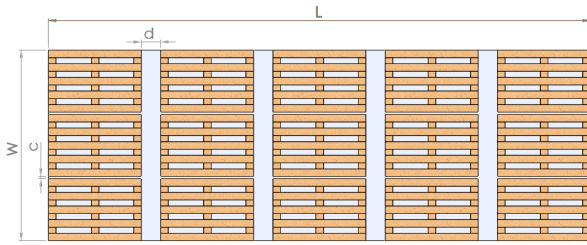
Na tabela 4.5 apresenta-se os resultados de todas as abordagens apresentada nas figuras 4.11 e 4.12.

Tabela 4.5: Comparação do armazenamento com paletes EUR-1 vs EUR-6 com a alteração de largura (2460 [mm]).

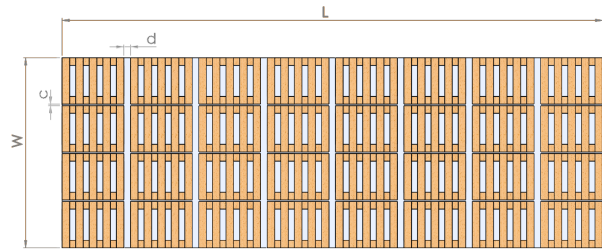
Config.	Total [paletes]	Espaço útil ocupado [%]
Fig 4.11 (a)	15 (EUR-1)	83.62 %
(b)	16 (EUR-1)	90.42 %
Algoritmo RPA (c)	17 (EUR-1)	94.77 %
Fig 4.12 (a)	32 (EUR-6)	89.20 %
(b)	33 (EUR-6)	93.56 %
Algoritmo RPA (c)	35 (EUR-6)	97.56 %

Mais uma vez, a aplicação do algoritmo permitiu obter uma melhor solução do que aquela que inicialmente se prevê através de uma abordagem empírica.

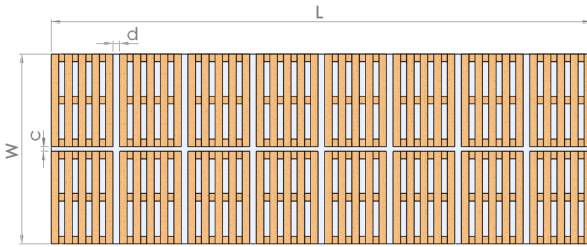
A tabela 4.6 apresenta os valores referentes aos melhores resultados obtidos apartir do algoritmo com 2200 [mm] e 2460 [mm] de largura, respetivamente. Analisando os resultados, a diferença de 2200 para 2460 [mm] reflete um aumento significativo do número de paletes e da



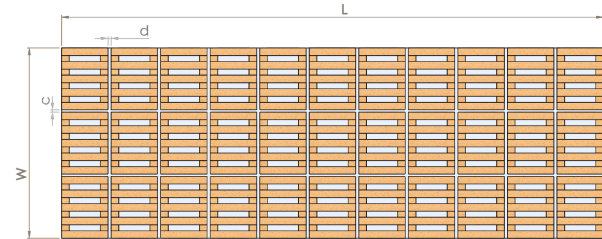
(a) EUR-1 15 paletes. (c=30mm, d=250mm)



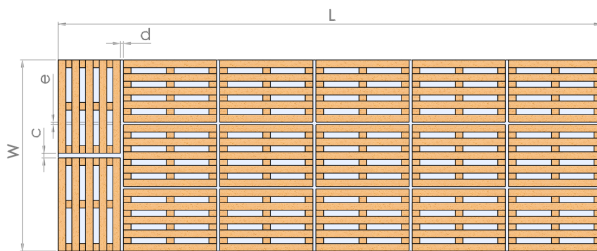
(a) EUR-6 32 paletes. (c=20mm, d=85.7143mm)



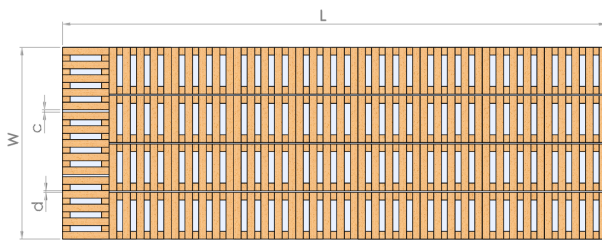
(b) EUR-1 16 paletes. (c=30mm, d=85.7143mm)



(b) EUR-6 33 paletes. (c=30mm, d=40mm)



(c) Algoritmo **RPA** - EUR-1 17 paletes. (c=60mm, d=40mm, e=30mm)



(c) Algoritmo **RPA** - EUR-6 35 paletes. (c=30mm, d=20mm)

Figura 4.11: Disposição das paletes EUR-1 com aumento de largura.

Figura 4.12: Disposição das paletes EUR-6 com aumento de largura.

percentagem de área útil ocupada.

Tabela 4.6: Espaço útil ocupado com a largura do compartimento de 2200mm e 2460mm.

Referente à tabela 4.4 (2200mm)	Total [paletes]	Espaço útil ocupado [%]
(a,b)	14 (EUR-1)	87.27
(c,d)	31 (EUR-6)	96.62
Referente à tabela 4.5 (2460mm)		
(c)	17 (EUR-1)	94.77
(c)	35 (EUR-6)	97.56

Assim, o aumento do espaço utilizado, consequentemente o aumento do número de paletes

dentro do compartimento foi conseguido através da otimização acima descrita. O aumento considerável tanto no tipo de paletes EUR-6 (31 para 35 unidades) assim como no tipo de paletes EUR-1 (de 14 para 17 unidades).

4.3.1 Seleção da paleta ideal

Esta secção pretende seleccionar o tipo de paleta a utilizar no armazém inteligente, devendo ser aquela que permite obter o melhor aproveitamento do espaço útil. Neste estudo são analisadas diferentes posições da carga (barris de 50 litros) para os dois tipos de paletes (EUR-1 e EUR-6), utilizando os resultados obtidos na secção anterior.

Analisando os melhores resultados da tabela 4.6, será possível organizar o compartimento com 17 paletes EUR-1 (94.77 %) ou 35 paletes EUR-6 (97.56%) por patamar. O número de patamares será determinado pela altura da paleta com a carga típica, nomeadamente barris de 50 litros representados na secção 3.3.

Na figura 4.13 são representadas várias disposições de barris na posição horizontal e vertical colocados na paleta EUR-1. Este tipo de paleta permite acondicionar 4 barris na horizontal ou 6 barris na vertical.

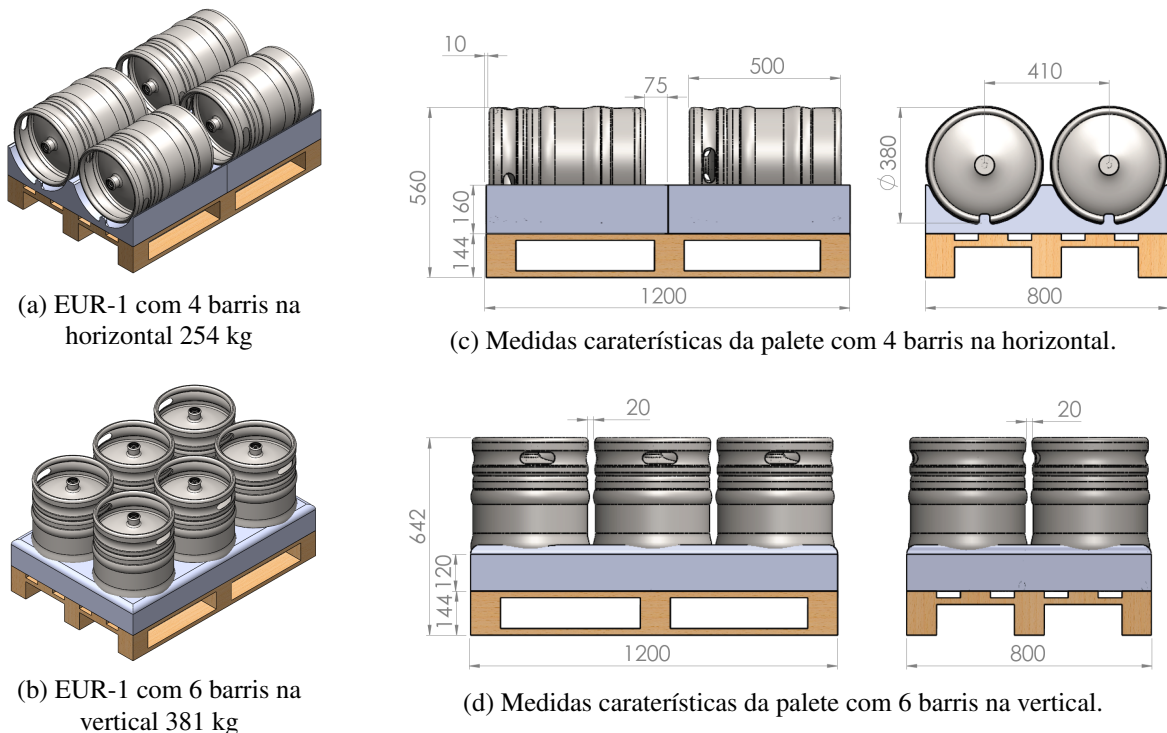


Figura 4.13: Organização da carga numa paleta EUR-1: barris na horizontal (cima); barris na vertical (baixo); vistas isométricas (a,b); vista laterais e frente (c,d).⁸

Na figura 4.14 são representados barris dispostos na posição horizontal e vertical numa paleta EUR-6. A capacidade da paleta EUR-6 é de 2 barris, horizontal ou vertical.

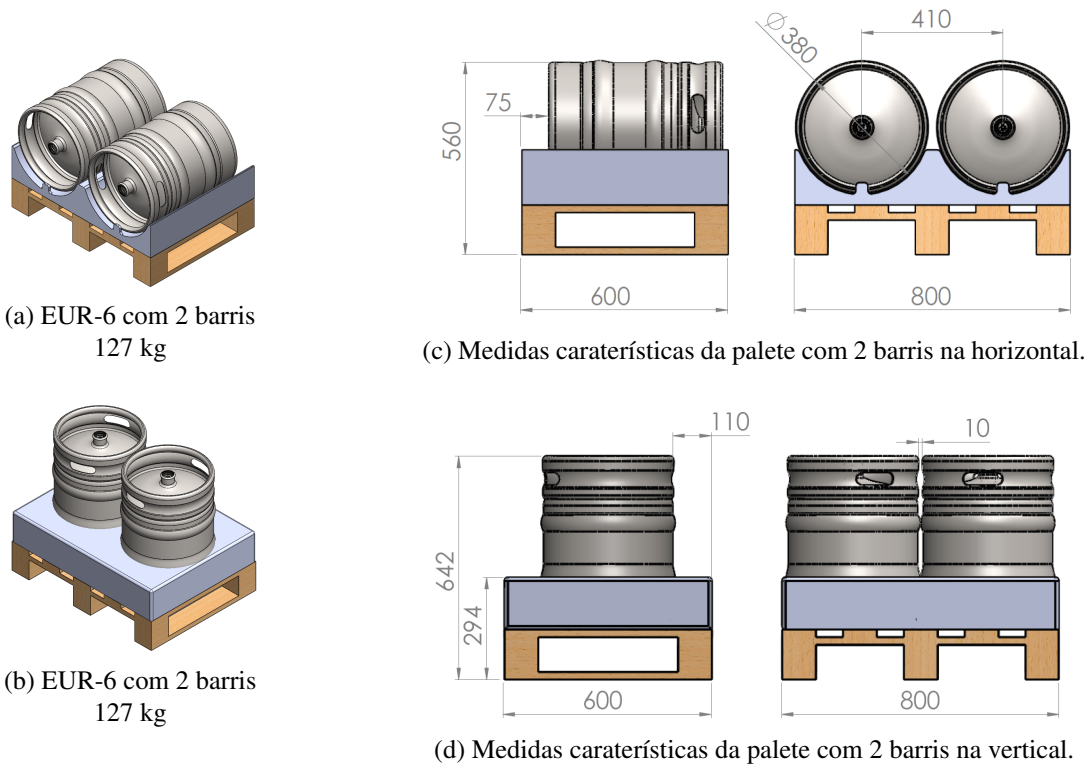


Figura 4.14: Organização da carga numa paleta EUR-6: barris na horizontal (cima); barris na vertical (baixo); vistas isométricas (a,b); vista laterais e frente (c,d).⁹

A tabela 4.7 apresenta as diferentes combinações de barris possíveis de armazenar no compartimento, considerando a altura máxima do veículo (2550 [mm]) e dos barris, conforme a posição em que são colocados na paleta (figuras 4.13 e 4.14).

Tabela 4.7: Quantidade de barris armazenados para diferentes tipos de paletes, posição da carga e níveis do armazém.

EUR-1	Número de barris	Patamares	Número de Paletes	Total de Barris	Peso total [kg]
17	4	4	68	272	17272
17	6	3	51	306	19431
EUR-6					
35	2	4	140	280	17780

Conclui-se que o tipo de palete indicado seria a paleta EUR-1 com a carga em posição vertical (figura 4.13), correspondente ao número de 17 paletes dispostas em 3 patamares (680 [mm] cada patamar), na totalidade de 306 barris. Por outro lado, a disposição de paletes pressupõe também o peso de cada paleta. Se, cada barril de 50 litros pesar 63.5 [kg] (secção 3.3), e tendo em conta o peso útil do veículo de 12747 [kg] (anexo A.1), esta configuração não resultará em situações de carga máxima.

Em resposta ao peso máximo definiu-se a carga para apenas 3 patamares e a carga na horizontal, por questões de centro de massa da paleta e facilidade na sua manobra de carga e descarga. A tabela 4.8 enuncia a capacidade de qual das paletes se adequa mais ao projeto.

Tabela 4.8: Peso total para as diferentes paletes.

EUR-1	Patamares	Número de Barris por paleta	Número de Paletes	Total de Barris	Peso total [kg]
17	3	4	51	204	12954
EUR-6					
35	3	2	96	192	12192

Concluindo assim, que a paleta que mais se adequa ao veículo será a paleta EUR-1 com quatro (4) barris na horizontal (figura 4.15). A secção 5.7.1, referente à estivagem de carga do modelo, reforça a escolha deste tipo de paleta e arrumação.

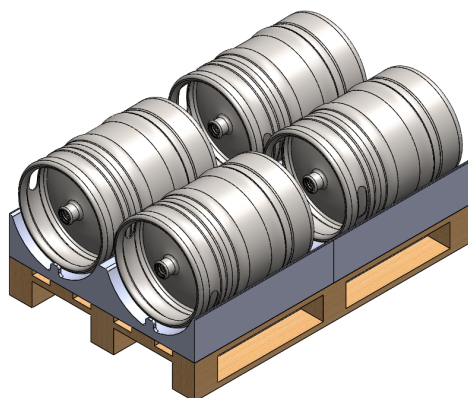


Figura 4.15: Paleta EUR-1 com 4 elementos na horizontal.

⁸Os acessórios acoplados à paleta EUR-1 correspondem aos acessórios P.001 (figura 4.13 (a)) e 2xP.002 (figura 4.13 (b)) referente ao anexo D.

⁹Os acessórios acoplados à paleta EUR-6 corresponde ao acessório P.002 (figura 4.14 (a)) e P.003 (figura 4.14 (b)) referente ao anexo D.

4.4 Modelos propostos do veículo

Este capítulo é um estudo evolutivo da forma do armazém e da sua organização, considerando vários modos de carga e descarga.

Ao longo do estudo desenvolveram-se vários modelos, em três fases, dada a sequência de otimizações ao longo do projeto. Estes modelos foram desenvolvidos utilizando o método empírico (secção 4.1) e heurístico (secção 4.2) com o objetivo de apresentar várias soluções possíveis de serem implementadas.

A estivagem e otimização de carga, a acessibilidade da carga e a simplicidade na construção do sistema são alguns dos objetivos que este capítulo aborda.

Admitindo como altura máxima da mercadoria (incluindo a altura da palete) de 680 [mm] (este valor pode variar consoante a disposição da altura de diversos módulos adicionais), o compartimento terá três (3) níveis de mercadoria.

O desenvolvimento dos vários modelos propostos são dispostos como uma evolução do sucessor em relação ao anterior. As características de cada fase e as que se se pretenderam atingir com a evolução de cada modelo de armazém apresentam-se de seguida.

Na 1ª fase: O transelevador é **interior** e a largura máxima de **2200 mm**, sendo projetado para armazenar paletes com a disposição apresentada na secção 4.1.

- Modelo 1 para 2 - Flexibilização da carga.

Na 2ª fase: O transelevador é **exterior** e a largura máxima do compartimento é **2200 mm**.

- Modelo 2 para 3 - Aproveitar todo o espaço útil do compartimento para colocação de carga;
- Modelo 3 para 4 - Utilização do transelevador em torno do armazém inteligente (compartimento de carga do veículo).

Na 3ª fase: O transelevador é **exterior** e a largura máxima do compartimento é **2460 mm**.

- Modelo 4 para 5 - aumento da largura do espaço útil conforme a legislação em vigor e de modo o transelevador ser adequado para a estivagem da carga com a disposição detalhada na secção 4.3.

Estes modelos são baseados numa fase de conceito inicial (fases 1 e 2) sem dimensionamento adequado ao peso da carga e do veículo. A partir das abordagens do capítulo 4, neste estudo alcança-se um modelo mais adequado às necessidades de projeto. A fase de dimensionamento é apresentada no capítulo 5.

4.4.1 1ª Fase - Compartimento com transelevador interior

Modelo 1

Caraterísticas do modelo

O modelo 1 baseia-se na organização das paletes apresentada nas figuras 4.2 e 4.3 e caracteriza-se por incorporar um transelevador na retaguarda do compartimento do veículo. Tem como objetivo auxiliar a carga e descarga, de forma autónoma, com recurso a estantes com sistemas que possibilitem a movimentação da carga no interior do compartimento.

A representação do modelo encontra-se na figura 4.16.

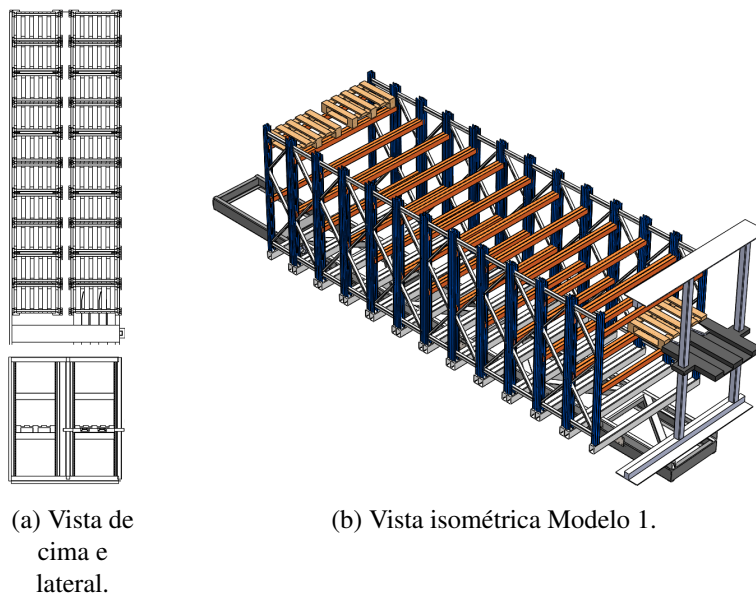


Figura 4.16: Modelo 1, vista de cima, lateral (a) e isométrica (b).

Vantagens

- O modelo é compatível com os dois tipos de paletes EUR-1 e EUR-6.

Desvantagens

- A flexibilidade é comprometida neste modelo, requerendo que a distribuição seja estudada antes da carga do veículo. A carga será carregada e descarregada por uma ordem predefinida, impedindo o acesso direto da mercadoria;
- O espaço do transelevador retira capacidade de carga do veículo.

Compartimento com EUR-1

A figura 4.16 apresenta a configuração deste armazém. Com base na figura 4.2 (a), referente à disposição das paletes, a última coluna de paletes terá que dar lugar ao transelevador (-6 paletes). Isto significa que as 30 paletes possíveis de acondicionar nos 3 níveis reduzem-se a um valor máximo de **24 paletes EUR-1**.

Percentagem de espaço ocupado será cerca de **49.87 %** ($23.04 m^2$).

Compartimento com EUR-6

Com base na figura 4.3 (b), o corredor central que armazena oito (-24) paletes é retirado assim como a última coluna que contém nove (-9) paletes. Assim, das 90 paletes possíveis de armazenar, este modelo apenas permite armazenar **57 paletes EUR-6**.

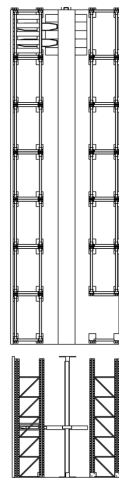
Percentagem de espaço ocupado será cerca de **59.22 %** ($27.36 m^2$).

Para contornar o problema da flexibilidade e evitar que se tenha de retirar uma paleta para aceder à carga anterior, foi criado o modelo 2.

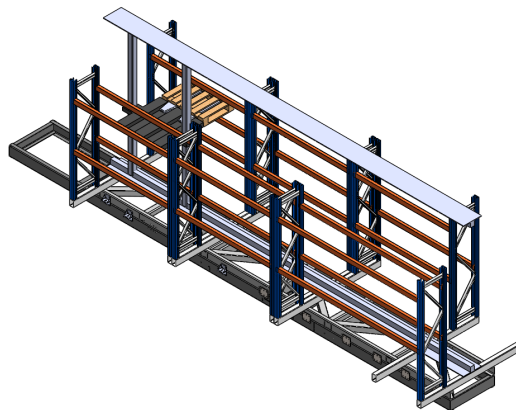
Modelo 2

Caraterísticas do modelo

O modelo 2 caracteriza-se por incorporar um transelevador central no compartimento do veículo. O sistema possibilita que a movimentação da carga no interior do compartimento seja flexível, considerando que o transelevador tem 3 eixos de movimento: cima/baixo, transversal esquerda/direita e longitudinal frente/trás. A representação do modelo encontra-se na figura 4.17.



(a) Modelo 2 - Vista de topo



(b) Vista isométrica Modelo 2

Figura 4.17: Modelo 2, vista de cima, lateral (a) e isométrica (b).

Vantagens

- Flexível pela independência da disposição da carga em relação à ordem pela qual é carregada e descarregada.

Desvantagens

- Capacidade de carga muito reduzida;
- Apenas permite a utilização de paletes EUR-6.

O sistema baseia-se na configuração apresentada na figura 4.18, com a exceção do corredor central.

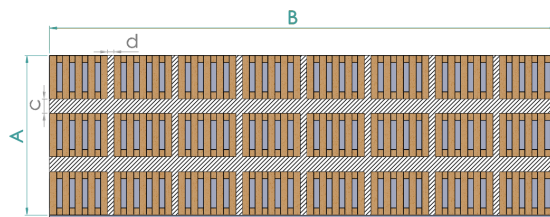


Figura 4.18: Figura referente à secção 4.1.

No Modelo 2 (figura 4.17) é retirado o corredor central (-24 paletes) e uma coluna da retaguarda de um dos lados do veículo (-3 paletes) para posterior carga e descarga. Da capacidade total de 72 paletes, este sistema tem uma capacidade de carga de **39 paletes EUR-6**, o que corresponde a uma percentagem de espaço ocupado de **40.52 %** ($18.72 m^2$).

Para um sistema flexível e com capacidade de carga que permita o uso ótimo do veículo foi proposto o modelo 3.

4.4.2 2ª Fase - Compartimento com transelevador exterior

Modelo 3

Caraterísticas do modelo

O modelo 3 caracteriza-se por incorporar dois transelevadores exteriores ao compartimento. O sistema possibilita que a movimentação da carga seja feita do exterior para o interior, e vice-versa, sem retirar carga útil ao compartimento.

A representação do modelo encontra-se na figura 4.19.

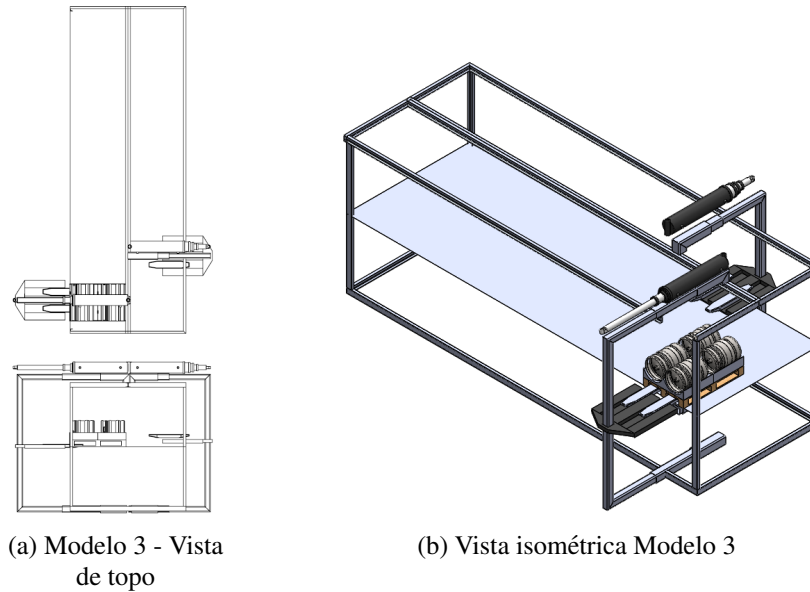


Figura 4.19: Modelo 3, vista de cima, lateral (a) e isométrica (b).

Vantagens

- Capacidade de carga elevada;
- Capacidade de efetuar carga e descarga simultânea.

Desvantagens

- A existência de dois transelevadores para que o veículo tenha capacidade de efetuar a carga e descarga de ambos os lados do veículo, torna o modelo um sistema complexo.

Recorrente à configuração do algoritmo presente na figura 4.20 (secção 4.10), corresponde a 14 paletes (EUR-1) por patamar.

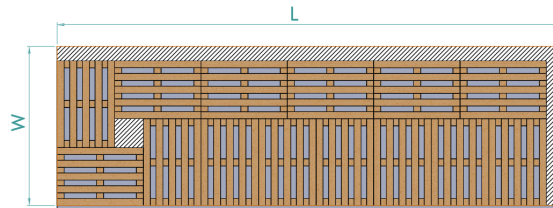


Figura 4.20: Figura referente à secção 4.2.

Neste modelo apenas são retiradas duas (-2) paletes, referente ao "repouso" de cada transelevador.

Este modelo tem uma capacidade de **40** paletes **EUR-1**, correspondendo a uma percentagem de espaço ocupado de **83.12 %** ($38.4 m^2$).

Modelo 4

Caraterísticas do modelo

O modelo 4 caracteriza-se por ter um único transelevador exterior ao compartimento, com acesso e capacidade de carga em ambos os lados do compartimento do veículo. A representação do modelo encontra-se na figura 4.21.

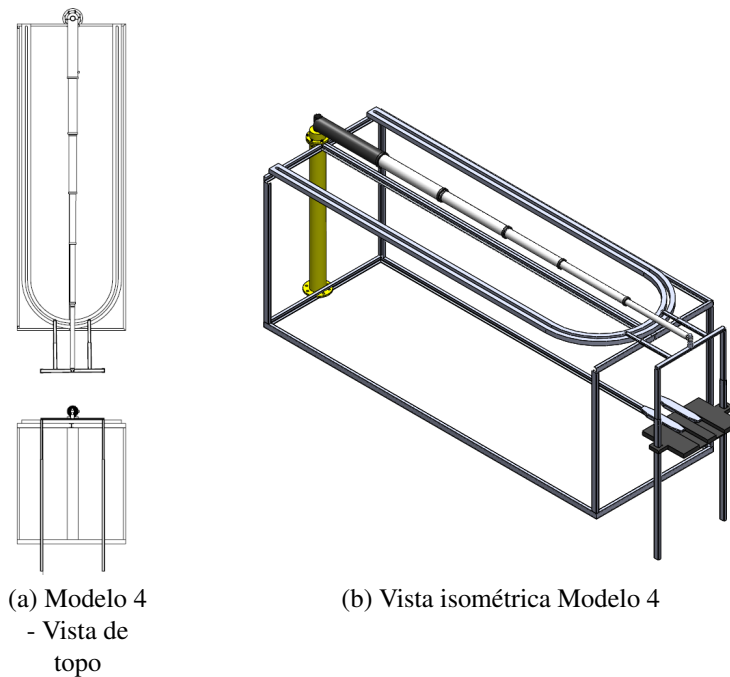


Figura 4.21: Modelo 4, vista de cima, lateral (a) e isométrica (b).

Vantagens

- Capacidade de carga elevada;
- Um único transelevador para todo o compartimento do veículo;
- Redução de peso em relação ao modelo 3.

Desvantagens

- A capacidade do transelevador “aceder” à mercadoria passará por adaptação de sistemas que possibilitem forquilha extensíveis;
- O método de rotação do transelevador requer um atuador linear telescópico de grandes dimensões.

Na mesma configuração representada na figura 4.20, para uma maior percentagem de espaço útil ocupado, redução de componentes e peso adicional ao veículo, foi proposto o modelo 4 com a possibilidade de um único transelevador cobrir a área total para carga e descarga da mercadoria.

Este modelo tem uma capacidade de **41 paletes EUR-1**, o que corresponde a uma percentagem de espaço ocupado de **85.19 %** ($39.36 m^2$).

4.4.3 3ª Fase - Compartimento com transelevador exterior com largura máxima.

Modelo 5

Caraterísticas do modelo O modelo 5 caracteriza-se por incorporar um transelevador exterior ao compartimento com capacidade de adaptar um sistema de rotação com contra-peso. O sistema permite que o transelevador aceda a todos os pontos de interesse para carga e descarga da mercadoria.

O aumento da largura do veículo de 2200 [mm] para 2460 [mm] foi descrito na secção 4.3. A representação do modelo encontra-se na figura 4.22.

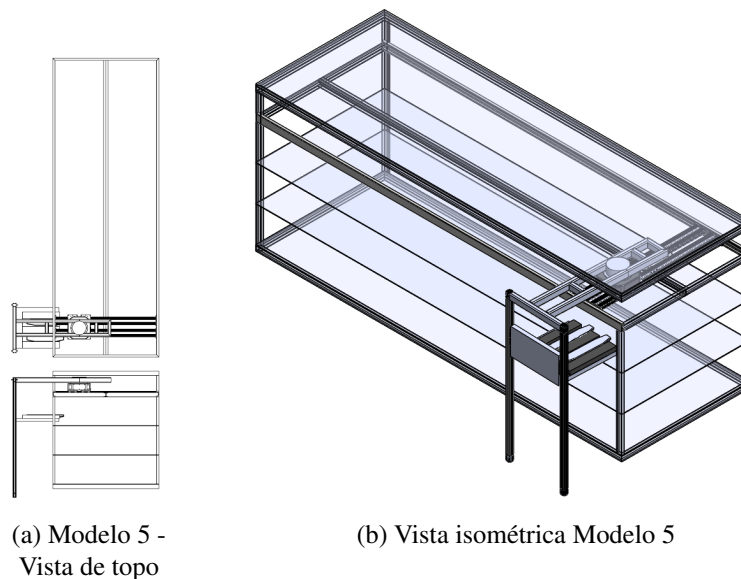


Figura 4.22: Modelo 5, vista de cima, lateral (a) e isométrica (b).

Vantagens

- Capacidade de carga elevada;
- Acesso amplo a todo o compartimento, sem interferência de pilares;
- Disposição das paletes ideal para carga e descarga.

Desvantagens

- Sistema de movimento complexo.

Com base na disposição da figura 4.23 e referente aos três pisos possíveis para a altura da carga, foi possível calcular a sua capacidade.

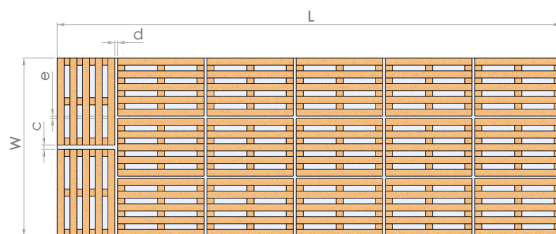


Figura 4.23: Figura referente à secção 4.3.

Este modelo tem uma capacidade **51** paletes **EUR-1**, o que corresponde a uma percentagem de espaço ocupado de **94.77 %** (48.96 m^2).

A tabela 4.9 compara todos os modelos anteriores pela quantidade de barris e espaço ocupado. Demonstra que a capacidade e a evolução do conceito permitiu aumentar cada vez mais a capacidade de carga do veículo.

Tabela 4.9: Comparação do modelo 1 ao 5.

Modelos	Paletes	Barris	Espaço ocupado [%]
Modelo 1	24	144	49.87% (23.04 m^2)
Modelo 2	39 (EUR-6)	78	40.52% (18.72 m^2)
Modelo 3	40	240	83.12% (38.40 m^2)
Modelo 4	41	246	85.19% (39.36 m^2)
Modelo 5	51	306	94.77% (48.96 m^2)

A capacidade das paletes é referida na secção 4.3.1, e a decisão final referente ao peso adicional do transelevador e capacidade do veículo na secção 5.7.1 (de 6 barris/paleta para 4). Esta alteração poderá justificar diferenças apenas na quantidade de barris utilizados (ao invés de 306 barris ter 204 barris). Apesar da alteração, o transelevador é dimensionado para a capacidade máxima definida no projeto (secção 5).

Modelo 6

Caraterísticas do modelo

O modelo 6 foi desenvolvido a partir da configuração apresentada na figura 4.23 e tem como alteração a forma como é realizado o movimento do transelevador.

Neste modelo foi adicionado um sistema de carris, que permite ao transelevador carregar e descarregar a mercadoria em torno do compartimento. Para o contornar foi adicionado um sistema que permite a rotação de 90 graus quando este está perto dos limites traseiros do veículo.

A adição do sistema de painel lateral com abertura "em asa", independente do sistema transelevador evita o sistema habitual de lonas frequentemente utilizado em veículos desta categoria. A representação do modelo encontra-se na figura 4.24.

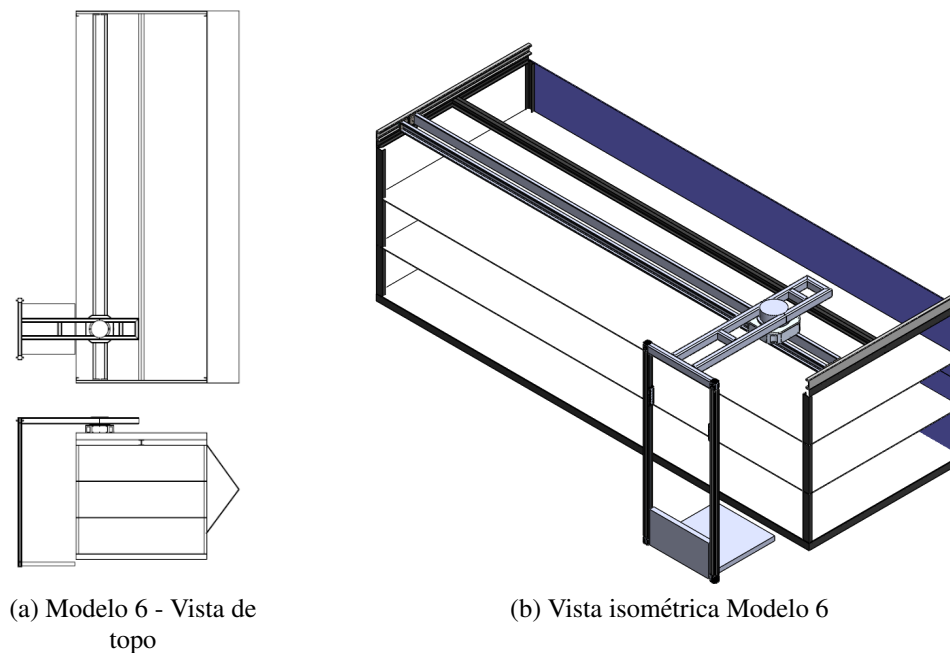
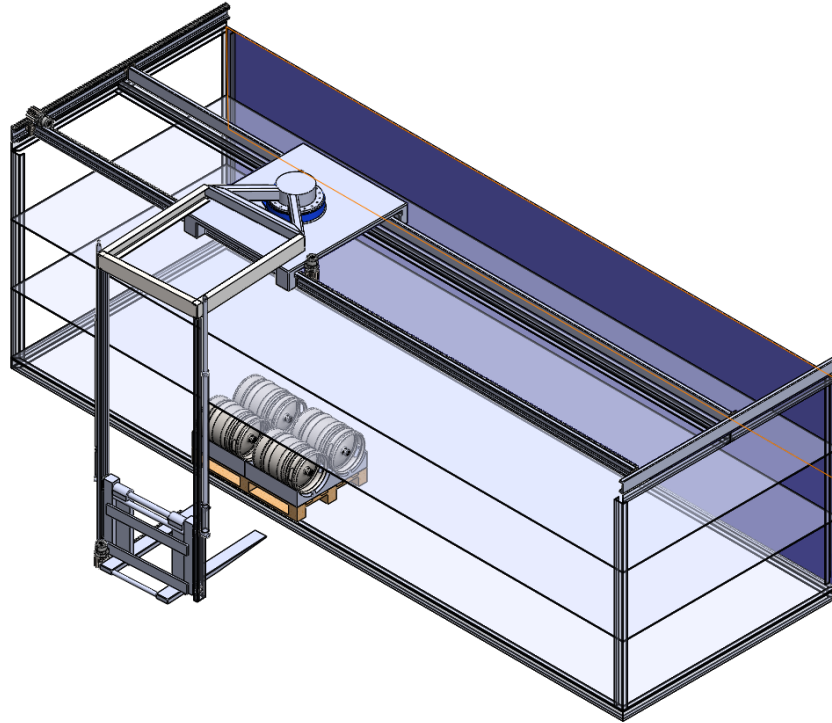


Figura 4.24: Modelo 6, vista de cima, lateral (a) e isométrica (b).

Vantagens

- Capacidade de carga elevada;
- Acesso amplo a todo o compartimento, sem interferência de pilares;
- Sistema de movimento por carris (existente no mercado);
- Sistema de abertura e fecho automatizada e independente do sistema de carris (abertura em asa, tecnologia existente no mercado);
- Carga/descarga ao solo.

Este modelo tem uma capacidade de **51 paletes EUR-1**, o que corresponde a uma percentagem de espaço ocupado **94.77 %** ($48.96 m^2$).



(a) Vista isométrica Modelo 6

Figura 4.25: Modelo 6, versão final do sistema de distribuição inteligente.

A figura 4.25 apresenta a versão final do modelo 6, que inclui um armazém com 3 patamares, um sistema de abertura lateral em asa e um transelevador automático composto por um sistema de carris e um braço robótico. O dimensionamento da estrutura do transelevador referente a este modelo é apresentado no capítulo 5. A arquitetura de controlo e comando do sistema é apresentada no capítulo 6.

Capítulo 5

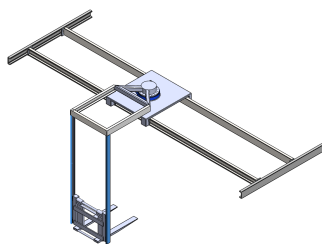
Dimensionamento do Transelevador

Este capítulo tem como objetivo dimensionar a estrutura do transelevador utilizado no processo de estivagem. O transelevador é uma estrutura modular colocada sobre a caixa, cujo a estrutura será dimensionada para suportar os esforços durante a operação de carga e descarga.

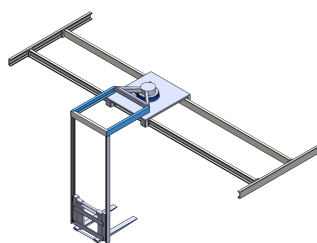
Este estudo pretende dimensionar os perfis adequados ao seu fabrico e selecionar alguns sistemas existentes no mercado (ex: forquilhas de elevação de carga, guiamento por carril, entre outros). Através de métodos analíticos (método da integração) para obtenção de valores mínimos referentes à escolha do tipo de vigas e através de métodos numéricos, com recurso a software para confirmação de resultados e devidas simulações de esforços.

5.1 Abordagem ao estudo da estrutura

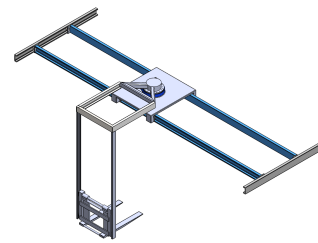
Esta secção apresenta a sequência implementada para dimensionar os vários componentes da estrutura do transelevador. A sequência do dimensionamento é iniciada no ponto onde é aplicada a carga (elemento terminal da estrutura), passando por todos os componentes da estrutura, até às barras de fixação na caixa do veículo. Esta sequência é ilustrada na figura 5.1.



(a) Vigas de carril do transelevador.



(b) Vigas superiores de suporte ao transelevador.



(c) Vigas de topo, sistema de translação do transelevador.

Figura 5.1: Sequência do estudo dimensional e seleção de perfis ao longo do transelevador.

O estudo dimensional da estrutura do módulo de transelevador é com base num modelo simplificado do modelo 6 (secção 4.4.3).

Dimensionamento do braço robótico sem considerar o peso próprio - (Secção 5.4.1 e 5.4.3).

A figura 5.1 (a) é referente aos perfis em carril que suportam a plataforma elevatória (secção 5.4.1). A figura 5.1 (b) é referente aos perfis que suportam o braço do transelevador (secção 5.4.3). O dimensionamento destes componentes passa por:

- Selecionar o perfil de carril para as condições de carga mais desfavoráveis;
- Determinação da flecha máxima, tensão máxima e coeficiente de segurança;
- Simulação pelo método elementos finitos em Solidworks;
- Apresentação da tabela comparativa dos resultados dos vários métodos.

Determinação do peso da estrutura do braço robótico - (Secção 5.4.1 e 5.4.3)

Determinação do peso do braço do transelevador a partir dos componentes selecionados e realização de uma nova simulação de elementos finitos contabilizando:

- A carga da palete;
- Os perfis selecionados e o peso respetivo.

Simulação do braço considerando o peso próprio - (Secção 5.4.5)

A nova simulação tem como objetivo observar o comportamento da estrutura contabilizando o peso próprio. A análise dos resultados (reações, deslocamentos e tensões máximas) permitiram obter o coeficiente de segurança do braço com intuito de comparar com o estudo e a seleção de perfis das secções 5.4.1 e 5.4.3.

Dimensionamento do sistema de translação - (Secção 5.4.7 e 5.5)

A figura 5.1 (c) é referente às vigas que proporcionam o sistema de translação do braço .

- Representação das juntas e acessórios propostos;
- Justificação da distância entre vigas.
- Dois diferentes perfis (HVR-2 e HVR-3);
- Flechas máximas, tensões máximas e coeficientes de segurança;
- Simulação de elementos finitos em Solidworks.
- Nova simulação de elementos finitos com o módulo do transelevador (com todos os perfis selecionados anteriormente);
- Seleção do perfil indicado para o sistema de translação.

Simulação do conjunto braço robótico e sistema de translação com peso próprio - (Secção 5.6.1)

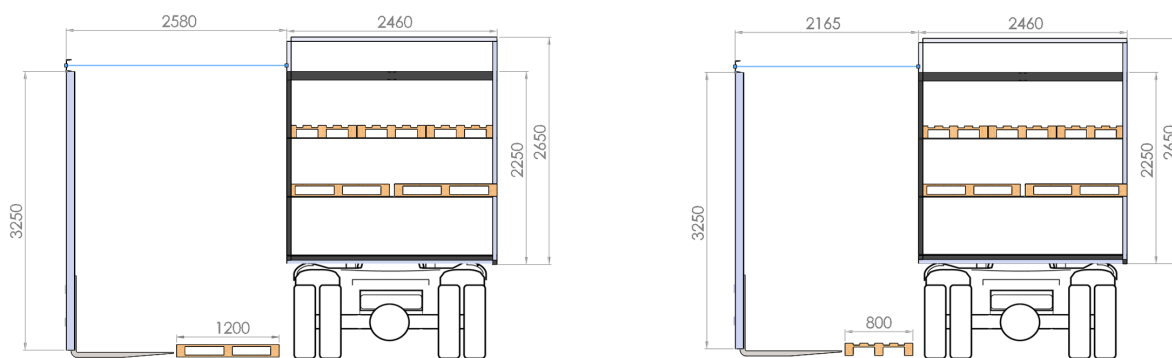
Finalmente, a simulação de elementos finitos que contabiliza todo o estudo anterior, todos os perfis seleccionados e devidamente caracterizados no software, com o peso próprio e a carga associada.

- Simulação de elementos finitos com o módulo de transelevador com peso próprio e respetiva carga;
- Tabela comparativa com pesos, deslocamentos máximos e coeficientes de segurança.

5.2 Medidas iniciais do transelevador

O processo de estivagem de uma palete num armazém automático requer que o transelevador possa levar a mercadoria ao patamar pretendido do compartimento. Para a carga e descarga da palete (no solo), os garfos fixos do transelevador pressupõe que o vão superior tenha comprimento necessário para contemplar a dimensão das forquilha e da palete.

Em consideração ao Modelo 6 referente à secção 4.4.3, foi proposto na figura 5.2, os comprimentos mínimos para com diferentes cenários possíveis.



(a) Palete transversal, vão com 2580 mm.

(b) Paleta Longitudinal, vão com 2165 mm.

Figura 5.2: Dimensões mínimas do transelevador para carga e descarga de paletes de diferentes orientações.

Como é possível observar na figura 5.2, estes comprimentos de vão podem representar um problema devido a tensões e momentos excessivos em torno do ponto de apoio. A seleção de perfis irá consistir na escolha de perfis adequados para suportar os esforços envolvidos. Assim, um vão com maior dimensão irá requerer uma estrutura mais robusta e, conseqüentemente, mais pesada.

Solução com garfos móveis

Com vista a reduzir o comprimento do vão, nas tarefas de carga e descarga, procedeu-se à alteração do tipo de garfos utilizados. Assim, a utilização de um módulo de garfos móveis (figura 5.3) soluciona o problema do comprimento excessivo de vão.

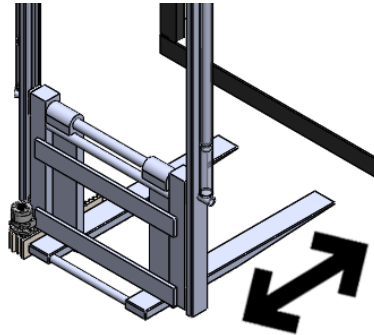


Figura 5.3: Sistema de garfos móveis.

Como a proposta de solução tem como vantagens a redução do vão, que por sua vez se reflete em tensões mais baixas (devido ao momento criado ser menor) e, conseqüentemente, um perfil menos robusto que o necessário. Na figura 5.2(a) representa o comprimento inicial de 2580mm para a figura 5.4(a) com 1300 mm, representando a solução e a medida selecionada.

Na figura 5.4 são apresentadas as medidas com a solução do módulo adicional das forquilhas do transelevador na figura 5.4, para qualquer disposição da palete e para o comprimento mínimo do vão. O dimensionamento da estrutura é realizada para a situação mais desfavorável: quando o transelevador está estendido e o mais perto do solo possível, sem estar apoiado.

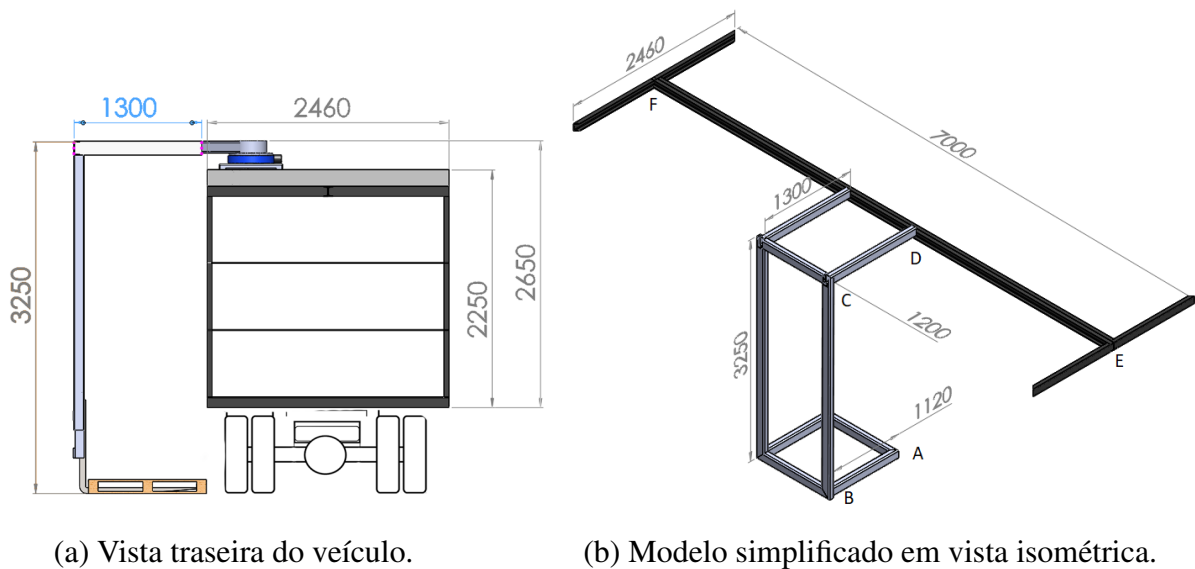
Conforme se pode ver na figura 5.4 aplica-se as seguintes dimensões.

- Viga Superior - 1300 [mm];
- Viga Carril - 3250 [mm];
- Forquilhas - 1120 [mm].

A redução de 2580 [mm] para 2165 [mm] e finalmente 1300 [mm] de vão, leva a uma redução significativa das tensões e do esforço no ponto de apoio do braço do transelevador, correspondente ao braço que produz momento pelo principio da alavanca.

5.3 Condições iniciais de cálculo

Dadas as medidas iniciais propostas para o transelevador, segue-se as condições que foram implementadas no dimensionamento da estrutura.



(a) Vista traseira do veículo. (b) Modelo simplificado em vista isométrica.

Figura 5.4: Solução 1300mm - Módulo adicional dos garfos móveis para redução do comprimento total da viga superior.

Como referido anteriormente, o recurso a sistemas existentes no mercado para adaptação de sistemas de transporte de cargas e movimentos lineares, tais como:

- ArcelorMittal [24] ArcelorMittal - disponível no anexo C.1 para perfis de vigas estruturais;
- PBCLinear [25] Hevi-Rail - disponível no anexo C.2 para o movimento linear em carril;
- IMO Antriebseinheit GmbH Co.KG [26] IMO-WDL Series - disponível no anexo C.3 para a rotação, no capítulo 6 mencionados em pormenor.

Deslocamentos máximos

O dimensionamento tem como base conceitos retirados da norma NP EN 1993-1-1 2010 [1, p.112] nomeadamente flexão vertical admissível disponível na página 112 referente ao Quadro NA.1 - *Valores recomendados para os limites dos deslocamentos verticais* com a condição - *Pavimentos que suportem colunas* - referente a um deslocamento máximo de $L/400$.

Material dos perfis

O material recomendado para os perfis estruturais é referido como um aço estrutural comum ao uso neste tipo de estruturas. Recomendado no catálogo PBCLinear [25] aço **S355J2G3**, DIN ST 52-3U (W.NR.: **1.0570**) ou **Fe 510 D**, idêntico ao material da superestrutura referido na secção 3.2.3.1.

Com as seguintes propriedades mecânicas:

- Módulo de elasticidade - E - 210 [GPa];
- Tensão de rotura - σ_{max} - 450 [MPa];
- Tensão cedência - σ_{adm} - 315 [MPa].

Caraterísticas da simulação de elementos finitos

A simulação de elementos finitos tem como objetivo obter resultados referentes às tensões máximas para futura otimização do produto/modelo. O *software* utilizado foi o *Solidworks 2017 Student Version*. Tem como propriedades a serem definidas para posterior análise e comparação ao método analítico:

- Material dos diversos componentes;
- Geometria do modelo em estudo;
- Definição das condições de fronteira;
- Definição das condições de carga.

5.4 Braço do Transelevador

Esta secção apresenta o estudo analítico dos esforços aplicados no braço do transelevador. O transelevador tem a capacidade de suportar e movimentar a carga correspondente a uma palete. Em consideração às solicitações impostas da carga e da sua movimentação, para dimensionamento do perfil indicado para o peso correspondente de 400 [kg]¹⁰, admite-se que cada um dos garfos terá de suportar 200 kg.

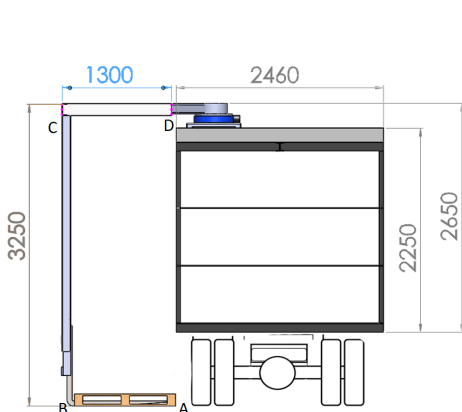
Neste estudo foram realizados cálculos analíticos para calcular as reações no ponto de apoio, conseqüentemente, as suas tensões e deformações máximas para escolha do perfil indicado. Foi selecionado o perfil da viga em carril BC e, seguidamente, o perfil da viga CD (ver figura 5.5).

Não sendo possível precisar como a carga é distribuída, admite-se uma carga aplicada ao centro de massa do garfo.

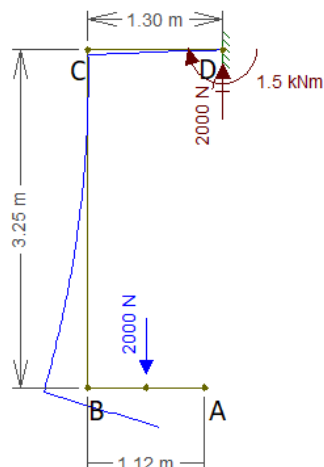
Para uma primeira abordagem, e com recurso ao *software Ftool* (figura 5.5) para confirmação de valores das reações. A carga aplicada a cada garfo corresponde ao valor de (w) (2000 [N]).

¹⁰O peso de uma palete EUR-1, correspondente a 6 barris, cada um com 63.5 [kg].

¹¹O cálculo pormenorizado para a viga mínima encontra-se no Anexo B.



(a) Vista traseira do veículo.

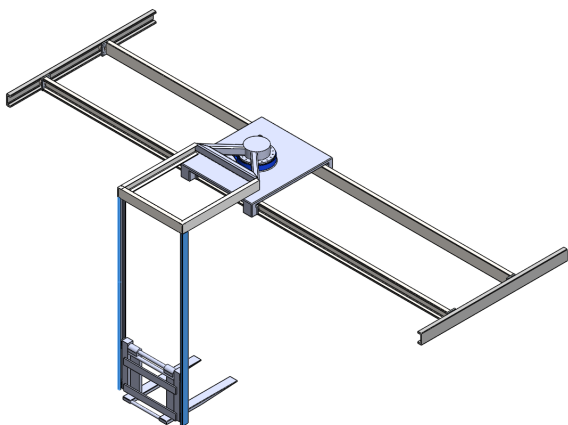


(b) Representação em *FTool*.

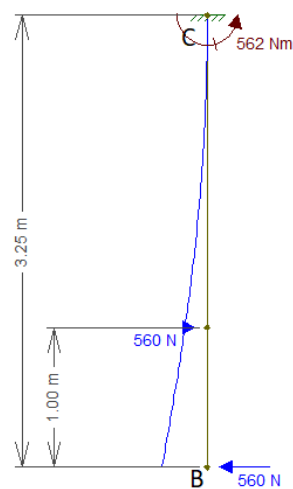
Figura 5.5: Representação do transelevador e cargas associadas ¹¹.

5.4.1 Perfil da viga tipo carril

A seleção de sistemas existentes no mercado, como referenciado na secção 5.3, consistiu no conceito de um carril. Este sistema proporciona mobilidade da carga, através do transelevador, permitindo que seja movida com segurança para um ponto definido. A escolha do perfil e rolamento indicado é referente à equação 5.1 e representado na figura 5.6 com a abordagem ao tipo de esforços sujeitos no rolamento e consequentemente no perfil.



(a) Seleção do perfil tipo carril do braço do transelevador.



(b) Representação em *FTool* das reações.

Figura 5.6: Viga tipo carril.

O catálogo *Hevi-Rail* da CRT (anexo C.2) apresenta um método de cálculo para as forças máximas.

Determinado os valores das reações na equação 5.2, admitindo que o perfil tem como condição de fronteira um encastre (meramente para efeitos de cálculo).

Força máxima radial:

$$F_{Max} = \frac{Q \cdot L}{2 \cdot A} \Leftrightarrow \frac{2000 \cdot 0.56}{2 \cdot 1.00} = 560N \quad (5.1)$$

Reações no ponto C:

$$F_C = 0 \text{ N} \quad (5.2)$$

$$M_C = F_{Max} \cdot 3.25 - F_{Max} \cdot (3.25 - 1.00) = 560 \text{ [N} \cdot \text{m]}$$

Para calcular o I_y mínimo é necessário recorrer novamente às condições iniciais referentes ao troço requerido.

Dado o Momento fletor:

$$Mx = 560x - 560(x - 1) = 560 \text{ [N} \cdot \text{m]} \quad (5.3)$$

Pelo método da integração:

$$\text{Função da rotação} - EIR = \int Mx \, dx + C3 = 560x - 1820 \quad (5.4)$$

$$\text{Função da deformada} - EIY = \int EIR \, dx + C4 = 280x^2 - 1820x + 2957.50$$

Os valores de C3 e C4 são referentes às constantes das condições de fronteira ¹².

Projeto à resistência mecânica

Com recurso à equação 5.5, é possível obter o valor do módulo resistente mínimo (W_{min}) do perfil necessário:

$$\sigma_{adm} = \frac{M_{max}}{W_{min}} \Leftrightarrow 315[MPa] = \frac{562[N \cdot m]}{W_{min}} \Leftrightarrow \mathbf{W_{min} = 1.78 \text{ [cm}^3\text{]}. \quad (5.5)}$$

Projeto à rigidez

Dada flecha máxima admissível, é possível calcular o segundo momento de área mínimo (I_{min}) que obedece ao critério:

$$flecha_{adm}^{12} = \frac{LBC}{400} \Leftrightarrow \quad flecha_{adm} = 8.125 \text{ [mm]} \quad (5.6)$$

$$flecha_{adm} = \frac{E I Y}{E \cdot I_{y_{min}}} \Leftrightarrow \quad I_{y_{min}} = 173.33 \text{ [cm}^4] \quad (5.7)$$

Seleção do Perfil

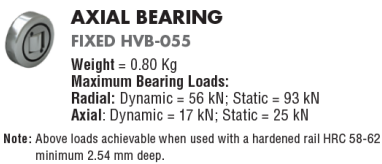
Com os resultados das condições acima (equações 5.6 e 5.7), é possível selecionar um perfil que se adeque aos requisitos mínimos.

O perfil **HVR-S** (ver o anexo C.2), o primeiro perfil da lista, não se adequa aos requisitos requeridos, dada a equação 5.8.

$$I_{y_{HVR-S}} = 38.8 \text{ [cm}^4] \ll I_{y_{min}} = 173.33 \text{ [cm}^4] \quad (5.8)$$

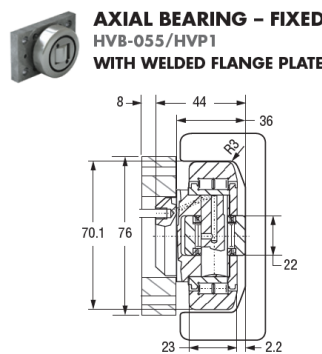
O perfil que mais se adequa é o perfil seguinte **HVR-1** com as seguintes características (ver figura 5.7):

- $I_{y_{HVR-1}} = 273.50 \text{ [cm}^4]$;
- $W_{HVR-1} = 53.00 \text{ [cm}^3]$.



(a) Rolamento HVB-055.

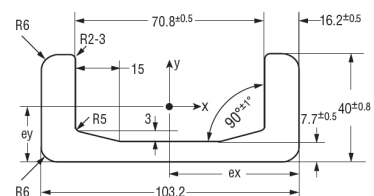
System Maximum Static Loads:
 Radial: 12.4 kN / 1.39 US Ton-Force
 Axial: 3.87 kN / 0.43 US Ton-Force
 Note: Above loads are achievable when used with shown rails.



(b) Flange HVP-1.

RAIL - U CHANNEL HVR-1

Weight = 14.8 Kg/m
 Moment of Inertia: $I_x = 27.29 \text{ cm}^4$; $I_y = 273.50 \text{ cm}^4$
 Moment of Resistance: $W_{x_{min}} = 10.91 \text{ cm}^3$;
 $W_{x_{max}} = 18.20 \text{ cm}^3$; $W_y = 53.00 \text{ cm}^3$
 Radius of Inertia: $i_x = 1.20 \text{ cm}$; $i_y = 3.81 \text{ cm}$
 Distance to Center of Gravity: $e_y = 1.50 \text{ cm}$; $e_x = 5.16 \text{ cm}$



(c) Perfil HVR-1.

Figura 5.7: HVR-1 - Referente ao catálogo PBCLinear [25, p. 32 e 33] no anexo C.2.

Para o perfil indicado HVR-1 verifica-se ao projeto à resistência mecânica (W_{min}) e à rigidez ($flecha_{max}$). Com os seguintes valores (flecha máxima, tensão máxima e coeficiente de segurança):

Flecha máxima

$$flecha_{max} = \frac{E I Y}{210 \cdot 10^9 [Pa] \cdot 273.5 \cdot 10^{-6} [mm^4]} \Leftrightarrow \quad (5.9)$$

$$\Leftrightarrow flecha_{HVR-1} = 0.00514 \Leftrightarrow \quad flecha_{HVR-1} = 5.2 \text{ [mm]}$$

Tensão máxima

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{W_{min}} \Leftrightarrow \frac{562 [N \cdot m]}{53.00 \cdot 10^{-6} [m^3]} \Leftrightarrow \sigma_{max} = 1.060 \cdot 10^7 [N/m^2] \quad (5.10)$$

Coeficiente de Segurança

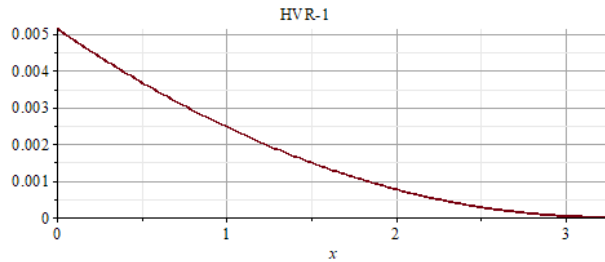
$$C.S._{minimo} = \frac{315 \cdot 10^6}{1.06 \cdot 10^7} \Leftrightarrow C.S. = 29.7 \quad (5.11)$$

Este valor de coeficiente de segurança deve-se ao facto do Momento provocado pela carga nos rolamentos ser de apenas 560 $[N \cdot m]$, provocando tensões máximas relativamente baixas em relação ao módulo resistente W_y do perfil, e consequentemente à tensão de cedência do material. Por sua vez, o perfil inferior (HVR-S) não se adequa à rigidez pela flecha máxima ultrapassar o admissível pelo que o perfil HVR-1 é o adequado para o tipo de esforços.

Deslocamento característico da viga

A figura 5.8 confirma o valor máximo de 5.2 [mm] de flecha obtida pela equação 5.9.

¹²Pressuposto admissível referido na secção 5.3.



(a) Deformada para o deslocamento máximo HVR-1, com recurso ao software *MapleSoft*.

```
Nodal
Displacements:
Dx = -5.090e+00 mm
Dy = 0.000e+00 mm
Rz = -2.736e-03 rad
```

(b) Valor do deslocamento máximo referente ao *FTool*.

Figura 5.8: Representação do deslocamento da viga carril.

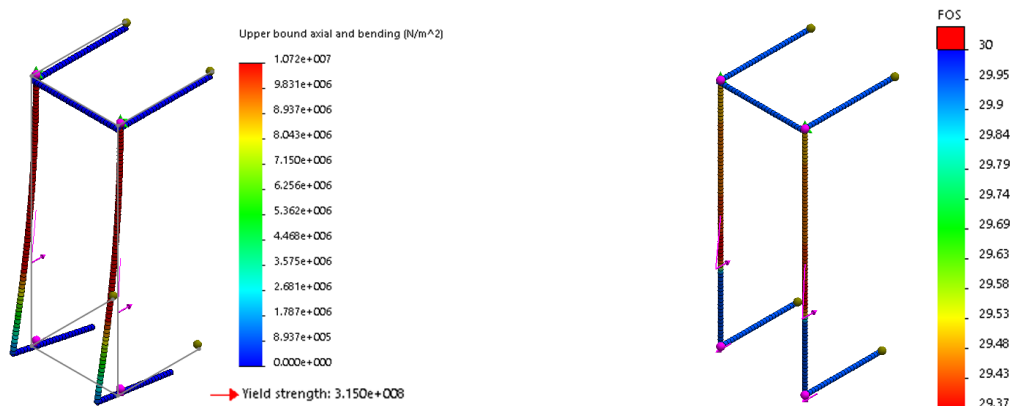
5.4.2 Simulação de elementos finitos - viga tipo carril

Esta secção apresenta a simulação de esforços aplicados na viga tipo carril pelo método de elementos finitos. Esta simulação considerou as seguintes propriedades:

- o material: S355J2G3, já definido na secção 5.3;
- a geometria do modelo em estudo;
- a definição de condições de fronteira: Encastre no ponto C;
- a definição de condições de carga: 560 [N] no ponto B e -560 [N] B.2.

O refinamento da malha (*mesh*) é definida como *Beam Mesh* em todas as simulações de elementos finitos do presente trabalho.

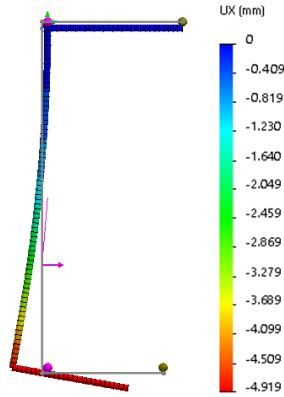
Com recurso ao software *Solidworks* obteve-se os seguintes resultados ilustrados nas figuras 5.9 e 5.10.



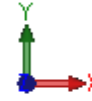
(a) Tensão máxima: 10.72 [MPa].

(b) Coeficiente de segurança mínimo: 29.37.

Figura 5.9: Tensões máximas e Coeficiente de Segurança do transelevador.



(c) Deformação em X: 4.9 [mm].



(d) Orientação.

Figura 5.10: Deformações do transelevador.

Tabela 5.1: Comparação de resultados obtidos pelos diversos métodos para o dimensionamento da viga superior HVR-1.

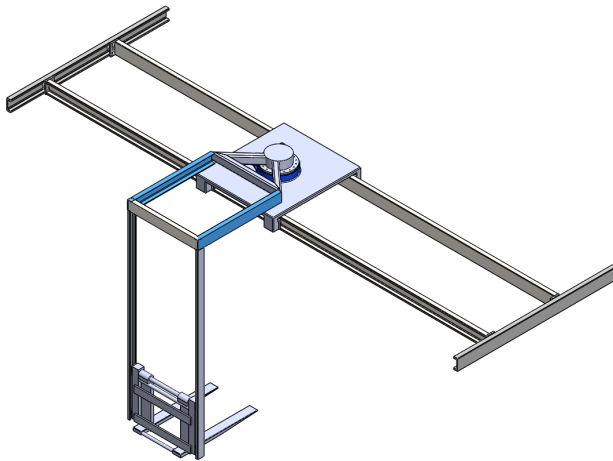
	Tensões máximas [N/m^2]	Deslocamento máximo [mm]	C.S. mínimo
Método Analítico	$1.060 \cdot 10^7$	5.2	29.7
<i>FTool</i>	N/A	5.1	N/A
<i>Solidworks</i>	$1.072 \cdot 10^7$	4.9	29.3

O valor do coeficiente de segurança é idêntico ao calculado no método analítico, pela justificação anteriormente (secção 5.4.1) referida do perfil HVR-1. O perfil cumpre o requisito de projeto à rigidez, e do material ter uma tensão de cedência relativamente alta em relação à tensão máxima que o perfil irá estar sujeito.

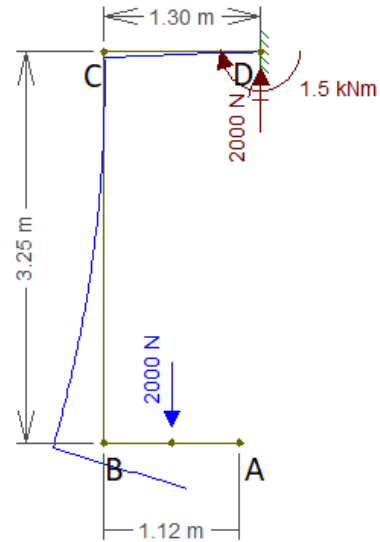
5.4.3 Perfil da viga superior do braço robótico

Com recurso ao catálogo de vigas UPE do catálogo ArcelorMittal [24, p.116 e 117] disponível no Anexo C.1 foi possível verificar as especificações para posterior seleção do perfil da viga superior do braço robótico.

A figura 5.11 representa o perfil selecionado e a representação dos esforços a que este estará sujeito.



(a) Seleção do perfil superior do braço do transelevador.



(b) Representação em FTool das reações.

Figura 5.11: Viga superior.

Reações no ponto D (admitindo como condição de fronteira o encastre no ponto D):

$$\begin{aligned} \sum F_y &= D_y - w & \Leftrightarrow F_{yD} &= 2000 \text{ [N]} \\ \sum M_D &= M_C - (w \cdot L_{CD}) + \frac{(w \cdot L_{AB})}{2} \cdot L_{CD} & \Leftrightarrow M_D &= 1480 \text{ [N} \cdot \text{m]} \end{aligned} \quad (5.12)$$

Dado o Momento fletor:

$$M_x = -D_y \cdot x + \frac{w \cdot L_{AB}}{2} \quad (5.13)$$

Pelo método da integração:

$$\begin{aligned} EIR &= \int M_x \, dx + C1 = -1000x^2 + 1120x + 234 \\ EIY &= \int EIR \, dx + C2 = -333.33x^3 + 560x^2 + 234x - 518.27 \end{aligned} \quad (5.14)$$

Projeto à resistência mecânica

Com recurso à equação 5.15 é possível obter o valor de W_{min} do perfil necessário:

$$\sigma_{adm} = \frac{M_{max}}{W_{min}} \Leftrightarrow 315[MPa] = \frac{1480[N \cdot m]}{W_{min}} \Leftrightarrow \mathbf{W_{min} = 4.69 \text{ [cm}^3\text{]}.} \quad (5.15)$$

Projeto à rigidez

Dada flecha máxima admissível é possível calcular o I mínimo para obedecer ao critério:

$$flecha_{adm} = \frac{LCD}{400} \Leftrightarrow flecha_{adm} = 3.25 \text{ [mm]} \quad (5.16)$$

$$flecha_{adm} = \frac{EIY}{E \cdot I_{y_{min}}} \Leftrightarrow I_{y_{min}} = 75.93 \text{ [cm}^4] \quad (5.17)$$

Seleção do Perfil

Com os resultados das condições acima é possível selecionar um perfil que se adeque aos requisitos mínimos.

A escolha do primeiro perfil ¹³ prefaz os requisitos necessários, nomeadamente **UPE80** com as seguintes características:

- $I_{y_{UPE80}} = 107 \text{ [cm}^4]$;
- $W_{UPE80} = 26.8 \text{ [cm}^3]$.

O projeto do perfil **UPE80** requer a verificação à resistência mecânica (W_{min}) e à rigidez ($flecha_{max}$), aplicando-se com os seguintes valores (flecha máxima, tensão máxima e coeficiente de segurança):

Flecha máxima

$$flecha_{max} = \frac{EIY}{210 \cdot 10^9 [Pa] \cdot 107 \cdot 10^{-6} [mm^4]} \Leftrightarrow \quad (5.18)$$
$$\Leftrightarrow flecha_{UPE80} = 0.0023 \text{ [m]} \Leftrightarrow flecha_{UPE80} = 2.3 \text{ [mm]}$$

Tensão máxima

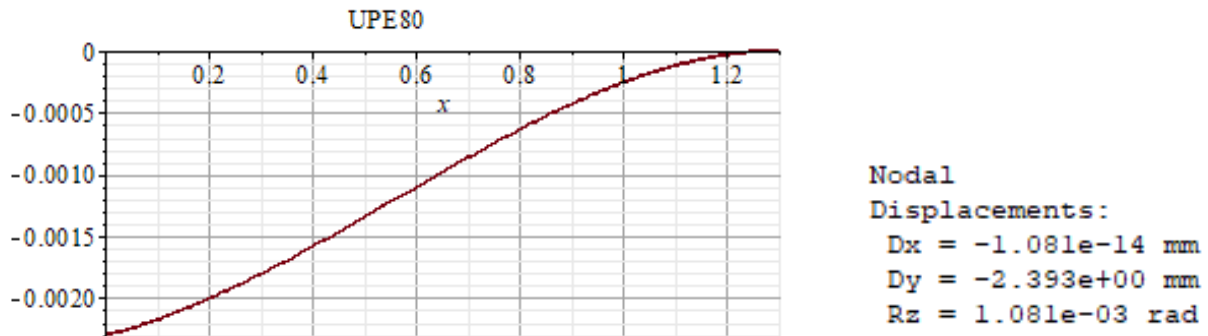
$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{W_{min}} \Leftrightarrow \frac{1480 \text{ [N} \cdot \text{m]}}{26.8 \cdot 10^{-6} \text{ [m}^3]} \Leftrightarrow \sigma_{max} = 5.52 \cdot 10^7 \text{ [N/m}^2] \quad (5.19)$$

¹³Com a escolha da viga UPE, que em relação à UPN tem menos peso, e com recurso ao catálogo ArcelorMittal no Anexo C.1 de vigas UPE.

Coefficiente de Segurança

$$C.S._{minimo} = \frac{315 \cdot 10^6}{5.52 \cdot 10^7} \Leftrightarrow C.S. = 5.7 \quad (5.20)$$

Deslocamento característico da viga



(a) Deformada para o deslocamento máximo da viga UPE80, com recurso ao software *MapleSoft*.

(b) Valor do deslocamento máximo referente ao *FTool*.

Figura 5.12: Deslocamento máximo do perfil UPE80.

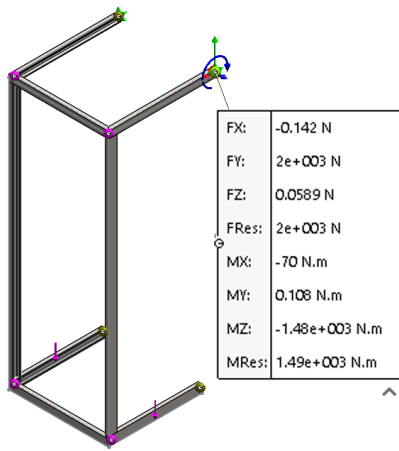
A figura 5.12 representa a deformação da viga **UPE80** com o deslocamento máximo de **2.3 [mm]**, cujo valor é menor que os 3.25 [mm] propostos inicialmente como flecha máxima admissível. Logo, a aplicação deste perfil cumpre o projeto à rigidez.

5.4.4 Simulação de elementos finitos da viga superior do braço do transelevador

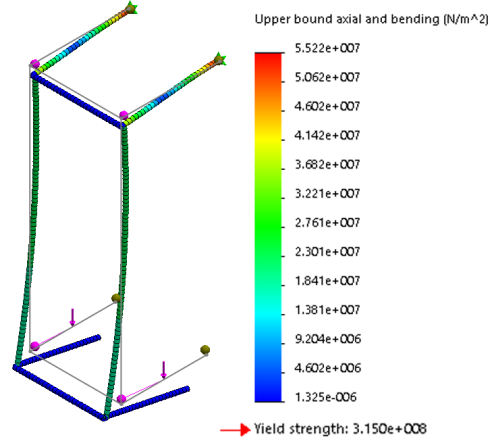
A simulação com o método de elementos finitos foi realizada considerando as seguintes propriedades:

- Material: S355J2G3, já definido na secção 5.3;
- Geometria do modelo em estudo;
- Definição de condições de fronteira: Encastre no ponto D;
- Definição de condições de carga: 2000 [N] no ponto LAB/2 em cada garfo.

Em comparação, a tabela 5.2 apresenta os resultados obtidos (figuras 5.13 e 5.14) com ambos os métodos implementados e respetivos coeficientes de segurança. O valor determinado tem em conta o perfil do catálogo C.1 mais baixo, ou seja, o primeiro selecionado correspondente ao perfil UPE80.

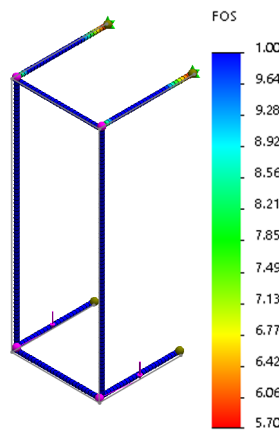


(c) Reações $F_y=2000$ N; $M_D=1490$ N·m.

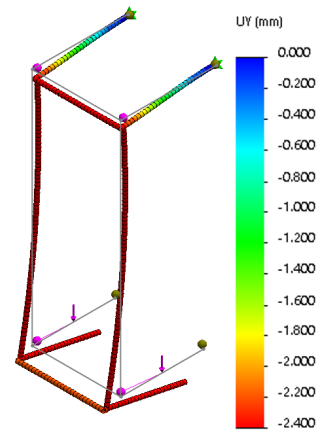


(d) Tensões máximas: 55.2 [MPa].

Figura 5.13: Reações nos apoios e Tensão máxima.



(e) Coeficiente de segurança mínimo: 5.70.



(f) Deslocamento referente ao transelevador: 2.4 [mm].

Figura 5.14: Coeficiente de segurança e deslocamento máximo.

Tabela 5.2: Comparação de resultados obtidos pelos diversos métodos para o dimensionamento da viga superior UPE80.

	Tensões máximas [N/m^2]	Deslocamento máximo [mm]	C.S. mínimo
Método Analítico	$5.52 \cdot 10^7$	2.3	5.7
<i>FTool</i>	N/A	2.4	N/A
<i>Solidworks</i>	$5.52 \cdot 10^7$	2.4	5.7

5.4.5 Peso do transelevador

O peso do transelevador é calculado com base nas características obtidas no catálogo do sistema de *Hevi-Rail* da *PBCLinear* [25] apresentada no anexo C.2.

A figura 5.15 representa o braço robótico com os perfis selecionados, a representação dos seus componentes e pesos respetivos.

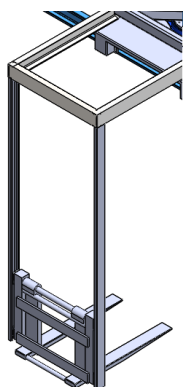


Figura 5.15: Modelo do braço robótico (vista isométrica).

Perfil	Peso [kg/m]	Comprimento[mm]	Total[kg]
garfos + apoio	30	N/A	60
Vigas UPE80	7.9	2 · 1300 + 1200	30
HVR-1	14.8	2 · 3250	96
4 Rolamentos	0.36	N/A	2
Total			188 [kg]

Tabela 5.3: Peso de cada item do braço do transelevador.

Estima-se que o peso do transelevador seja por volta dos **200 [kg]** (devido a adição dos sistemas posteriores de acionamento de movimento, por exemplo: cilindros hidráulicos).

No software *Solidworks* com a ferramenta *Mass Properties* é capaz de calcular a massa dos perfis, através do volume, tendo em conta o tipo de material e a sua densidade, correspondente ao valor de massa de 19844.84 [gramas] equivalente a **194 [kg]** (tendo em conta o valor da aceleração da gravidade de [9.81 m/s]).

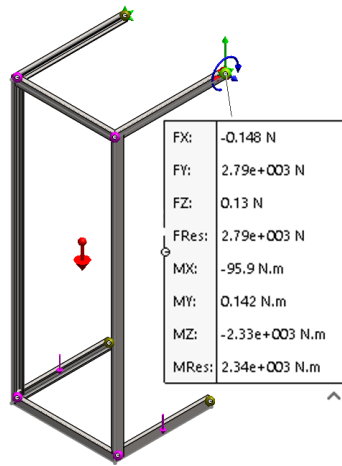
5.4.6 Simulação de elementos finitos do braço do transelevador considerando o peso próprio

Nesta secção apresenta-se uma simulação de esforços do braço robótico com o método de elementos finitos, considerando peso próprio da estrutura. O peso próprio considera a aplicação da força gravítica na direção vertical, sentido descendente.

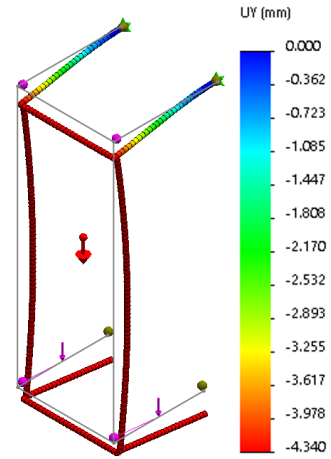
As propriedades da simulação são:

- Material: S355J2G3, já definido na secção 5.3;
- Geometria do modelo em estudo;
- Definição de condições de fronteira: Encastre no ponto D;

- Definição de condições de carga: 2000 [N] no ponto LAB/2 em cada garfo e respetivo plano de ação gravitacional (9.8 m/s).

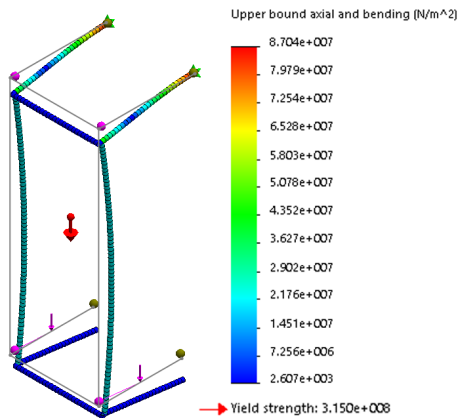


(a) Reações nos apoios: $F = 2790$ [N]; $M = 2340$ [Nm].

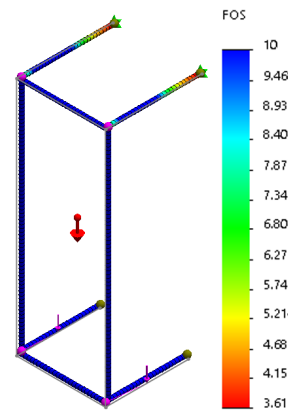


(b) Deslocamento máximo: 4.30 [mm].

Figura 5.16: Reações e deslocamento máximo com peso próprio.



(c) Tensões máximas: 87 [MPa].



(d) Coeficiente de segurança: 3.61.

Figura 5.17: Tensões máximas e coeficiente de segurança com peso próprio.

As figuras 5.13 e 5.16 representam a simulação e valores respetivos do braço robótico.

Analisando os resultados apresentados na tabela 5.4, conclui-se que, dada a flecha máxima de 3.25 [mm] para suportar a carga e o peso próprio da estrutura será recomendado o uso de um perfil (UPE100), ou seja, acima do perfil selecionado (UPE80). Contudo, a flecha máxima ($L/400$) é a escolha mais conservativa do Quadro NA.1 referente ao NP EN 1993-1-1 2010 [1] e o coeficiente de segurança de 3.61 comprova isso mesmo.

Tabela 5.4: Comparação dos resultados sem e com peso próprio.

	Reações [N/Nm]	Tensões [MPa]	Deslocamento [mm]	C.S.
Sem peso próprio	2000 / 1480	55.2	2.4	5.7
Com peso próprio	2790 / 2340	87.1	4.3	3.6

5.4.7 Suporte móvel do braço robótico entre o braço robótico e o sistema de translação

O braço robótico do transelevador é acoplado ao sistema de translação através de um suporte móvel, como ilustrado na figura 5.18.

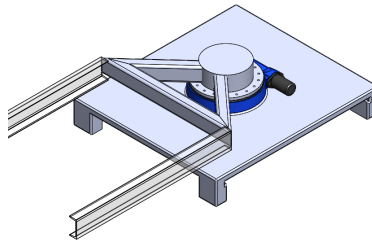
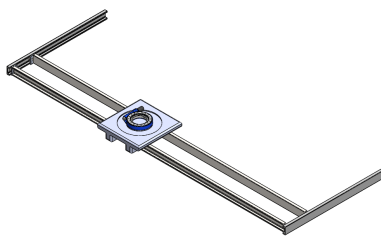


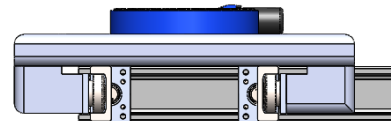
Figura 5.18: Suporte móvel que permite acoplar o braço robótico ao sistema de translação.

O suporte móvel permite a acoplação do braço robótico ao sistema de translação, efetuando movimentos lineares no sentido longitudinal do compartimento de carga (figura 5.19 (a)). Auxiliado por motores com um pinhão e cremalheira, proporcionando o movimento.

Para mover o braço robótico em torno do compartimento a base linear combina uma junta de rotação (figura 5.19 (a)) acoplada sobre um suporte móvel (figura 5.19 (b)). Assim, o suporte móvel permite o movimento linear ao longo carris longitudinais do sistema de translação e a junta de rotação acoplada ao braço permite que este rode nas extremidades da traseira do veículo.



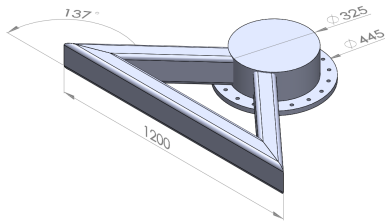
(a) Vista Isométrica do sistema de translação.



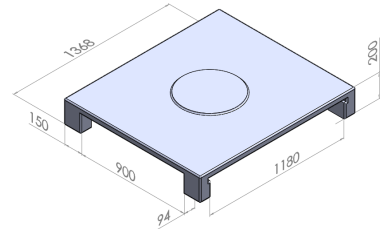
(b) Vista pormenorizada do carril.

Figura 5.19: Proposta do sistema de carril.

Os acessórios da figura 5.20 denominados de junta de rotação são componentes que fazem a acoplação entre o transelevador, o rolamento e o sistema de translação (vigas de topo).



(a) Junta de rotação do braço robótico T.001.



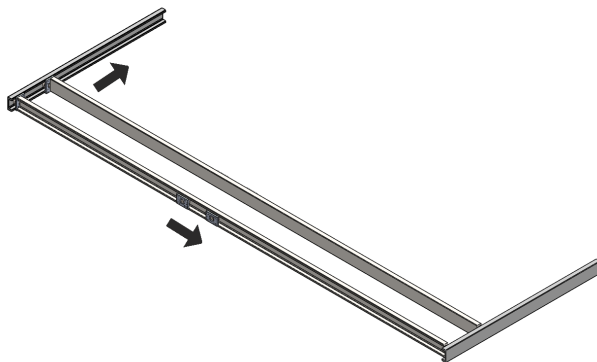
(b) Suporte Móvel T.002.

Figura 5.20: Componentes do suporte móvel do braço robótico (junta de rotação).

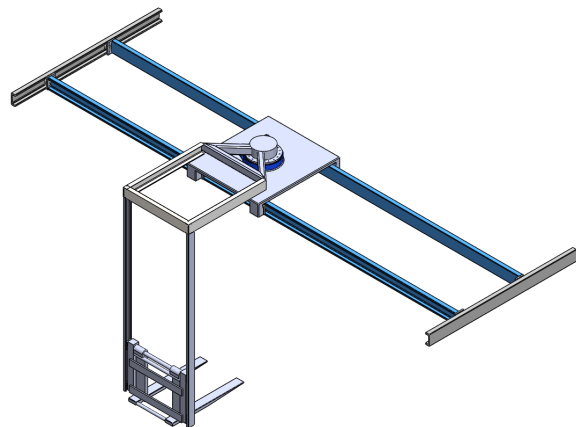
5.5 Sistema de translação

Esta secção apresenta o dimensionamento da estrutura sistema de translação do transelevador (figura 5.21). Este sistema é acoplado no topo do compartimento e é composto por vigas nas direções longitudinal e transversal, permitindo mover o carro no plano (figura 5.21 (a)).

Foi selecionado o mesmo perfil para as vigas das extremidades para movimentar o transelevador longitudinalmente, sem necessidade de requisitar outro sistema de movimentação. Estes movimentos são representados na figura 5.21.



(a) Tipo de movimentos lineares das vigas de topo.



(b) Estrutura geral do transelevador.

Figura 5.21: Estrutura do sistema de translação e movimentos das juntas lineares.

O movimento linear das vigas longitudinais no sentido transversal é conseguido através do acoplamento das extremidades com rolamentos *Hevi-Rail*, como é visível na figura 5.22.



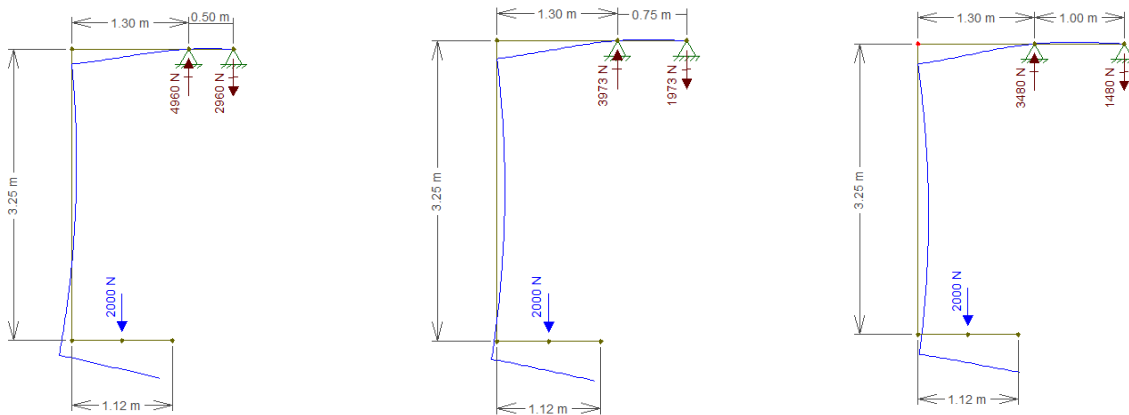
(a) Vista isométrica da ligação das vigas.

(b) Pormenor do rolamento e perfil da viga HVR.

Figura 5.22: Acoplamento das vigas do sistema de translação.

5.5.1 Distância entre as vigas do sistema de translação

A distância entre vigas é justificada pelo facto da viga CD do transelevador corresponder a 1300 [mm] (ver secção 5.2). O valor total da largura do veículo de 2460 a distância entre as vigas deverá ser entre mínimo de **500 [mm]** e o máximo de **1000 [mm]** para que assim o transelevador possa chegar a todos os compartimentos, consiga recolher a mercadoria e sem que o comprimento das vigas interfira com a largura máxima do veículo.



Distância de 500 mm.

Distância de 750 mm.

Distância de 1000 mm.

Figura 5.23: Reações do transelevador em carga nas vigas de topo em *FTool*.

Apartir da figura 5.23 é possível verificar que quanto maior a distância menor será a reação nas vigas de topo. Assim, a escolha do valor máximo admissível para a distância entre as vigas de

topo é determinada pela menor somatório de reações nos apoios. Analisando os resultados obtidos (figura 5.23) definiu-se que as vigas longitudinais teriam entre si uma distância de **1000 [mm]**, ficando sujeitas aos esforços $F_y = 3480$ [N] e $F_y = 1480$ [N].

O dimensionamento da estrutura será realizado para a situação mais desfavorável, ou seja, com o carro que suporta do braço robótico a meio do compartimento, no sentido longitudinal (figura 5.24).

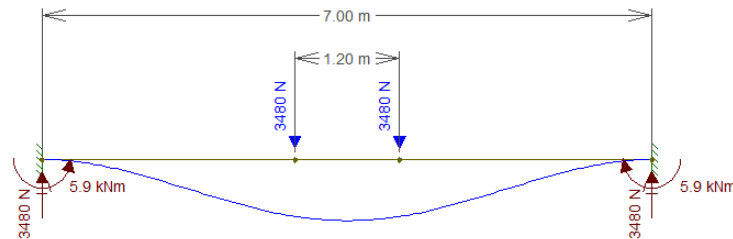



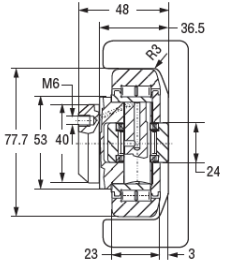
Figura 5.24: Reações e deformação da viga de topo em *FTool*.

Com recurso ao software *FTool* e *Solidworks* foi possível determinar o valor das reações nas extremidades, referente ao tipo de perfis que possa ser selecionado.


Em análise, o perfil HVR-2 na figura 5.25 ou o perfil HVR-3 na figura 5.26, como comparação face às vantagens e desvantagens que cada perfil representa. O perfil HVR-3 terá um maior segundo momento de área (I_y) suportando tensões mais elevadas, a custo de um peso superior ao do perfil HVR-2.



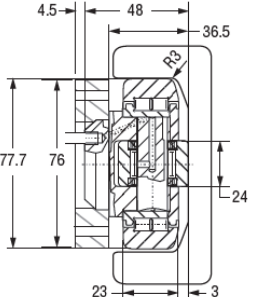
AXIAL BEARING – FIXED HVB-056
 Weight = 1.00 Kg
 Maximum Bearing Loads:
 Radial: Dynamic = 48 kN; Static = 60.8 kN
 Axial: Dynamic = 16 kN; Static = 18 kN
 Note: Above loads achievable when used with a hardened rail HRC 55 minimum 2.54 mm deep.



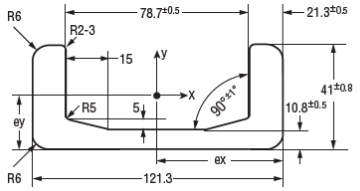
System Maximum Static Loads:
 Radial: 12.9 kN / 1.45 US Ton-Force
 Axial: 4.0 kN / 0.44 US Ton-Force
 Note: Above loads are achievable when used with shown rails.



AXIAL BEARING – FIXED HVB-056/HVP2 WITH WELDED FLANGE PLATE



RAIL – U CHANNEL HVR-2
 Weight = 20.9 Kg/m
 Moment of Inertia: $I_x = 37.92$ cm⁴; $I_y = 493.58$ cm⁴
 Moment of Resistance: $W_{x_{min}} = 14.83$ cm³;
 $W_{x_{max}} = 24.58$ cm³; $W_y = 81.38$ cm³
 Radius of Inertia: $i_x = 1.19$ cm; $i_y = 4.30$ cm
 Distance to Center of Gravity: $e_y = 1.54$ cm; $e_x = 6.07$ cm



Rolamento HVB-056.

Flange HVP-2.

Perfil HVR-2.

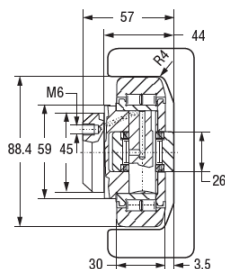
Figura 5.25: **HVR-2** - Referente ao catálogo PBCLinear [25, p. 34 e 35] no anexo C.2.



AXIAL BEARING – FIXED HVB-058

Weight = 1.62 Kg
Maximum Bearing Loads:
Radial: Dynamic = 60 kN; Static = 72 kN
Axial: Dynamic = 23 kN; Static = 40 kN

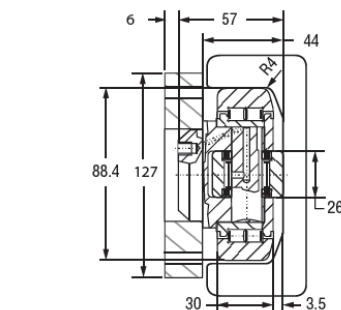
Note: Above loads achievable when used with a hardened rail HRC 55 minimum 2.54 mm deep.



Rolamento HVB-058.



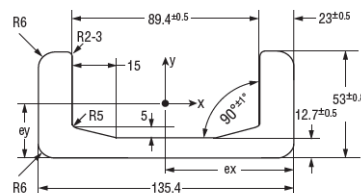
AXIAL BEARING – FIXED HVB-058/HVP3 WITH WELDED FLANGE PLATE



Flange HVP-3.

RAIL – U CHANNEL HVR-3

Weight = 24.8 Kg/m
Moment of Inertia: $I_x = 89.47 \text{ cm}^4$; $I_y = 865.23 \text{ cm}^4$
Moment of Resistance: $W_{X_{\min}} = 10.91 \text{ cm}^3$;
 $W_{X_{\max}} = 18.20 \text{ cm}^3$; $W_y = 53.00 \text{ cm}^3$;
Radius of Inertia: $i_x = 1.20 \text{ cm}$; $i_y = 3.81 \text{ cm}$
Distance to Center of Gravity: $e_y = 1.50 \text{ cm}$; $e_x = 5.16 \text{ cm}$



Perfil HVR-3.

Figura 5.26: **HVR-3** - Referente ao catálogo PBCLinear [25, p. 38 e 38] no anexo C.2.

Conforme referido na secção 5.3 a flecha máxima admissível será $L/400$. Assim, para uma vida de comprimento 7000 [mm] terá uma flecha máxima admissível de 17.5 [mm]. A figura 5.27 representa os resultados dos deslocamentos máximos obtidos para os dois perfis obtidos pelo software *FTool*.

Max. Vert. Displ.:
DY: -1.012e+01 mm

(a) HVR-2 - deslocamento com 10 [mm].

Max. Vert. Displ.:
DY: -5.727e+00 mm

(b) HVR-3 - deslocamento com 5.7 [mm].

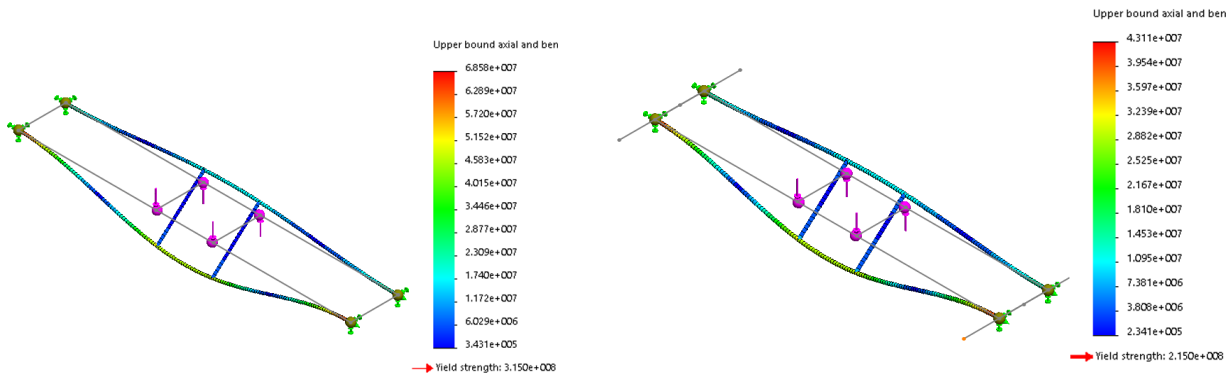
Figura 5.27: Tipos de perfis propostos e deslocamentos máximos.

5.5.2 Simulação de elementos finitos do sistema de translação

Nesta secção é apresentada uma simulação por elementos finitos de todo a estrutura do transelevador para analisar os esforços e a deformação global de estrutura com ambos os perfis: HVR-2 e HVR-3. É realizada considerando as seguintes propriedades:

- Material: S355J2G3, já definido na secção 5.3;
- Geometria do modelo em estudo;
- Definição de condições de fronteira: Encastre nos limites das vigas de topo;
- Definição de condições de carga: 3480 [N] em ambos os pontos de apoio do transelevador da viga “esquerda”, -1480 [N] na reação contrária na viga “direita”.

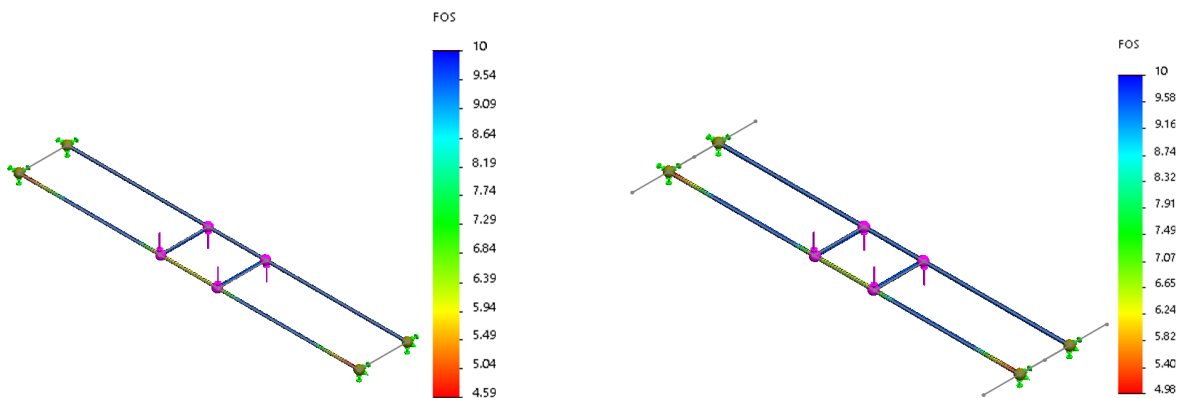
A simulação foi realizada para ambos os perfis (HVR-2 e HVR-3) representadas nas figuras 5.28, 5.29 e 5.30.



(a) HVR-2 - Tensão máxima: 68.57 (MPa).

(b) HVR-3 - Tensão máxima: 43.11 (MPa).

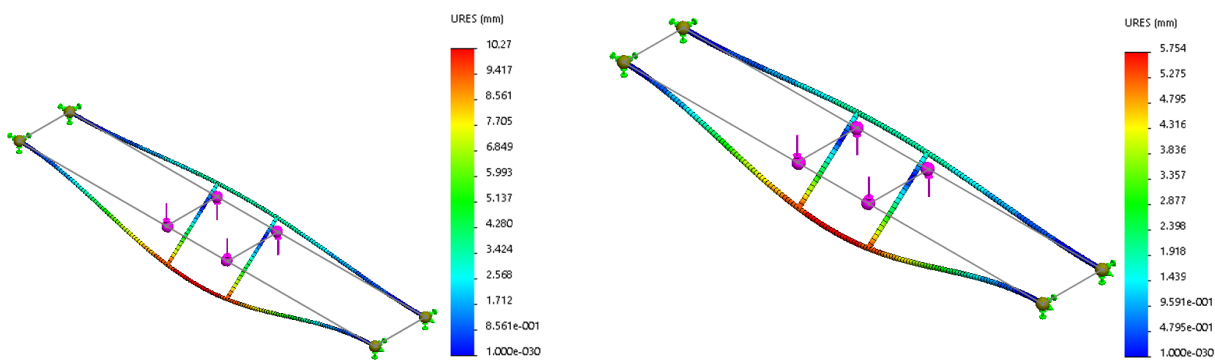
Figura 5.28: Resultados da tensão máxima suportada nos perfis HVR-2 e HVR-3.



(c) HVR-2 - C.S. mínimo: 4.8.

(d) HV-R3 - C.S. mínimo: 7.3.

Figura 5.29: Coeficiente de segurança mínimo dos perfis HVR-2 e HVR-3.



(e) HVR-2 - Deslocamento máximo: 10.27 (mm).

(f) HVR-3 - Deslocamento máximo: 5.74 (mm).

Figura 5.30: Deslocamentos máximos dos perfis HVR-2 e HVR-3.

Após a análise com base nas figuras 5.28, 5.29 e 5.30 a escolha do perfil HVR-2 cumpre os requisitos necessários ao projeto de resistência mecânica e de rigidez. Considerando que é uma viga em que a sua flexão poderá representar uma diferença abrupta do valor do deslocamento nos garfos do transelevador, desde o referencial em repouso até à situação de carga máxima, simulou-se todo o conjunto para simular e justificar a escolha entre o perfil HVR-2 e HVR-3.

Na tabela 5.5 é apresentado os resultados como comparação entre os dois perfis.

Tabela 5.5: Comparação de resultados dos perfis da viga superior HVR-2 e HVR-3.

	Tensões máx. [MPa]	C.S. mín.	Deslocamento máx. [mm]	Peso [kg]
HVR-2	68.57	4.8	10.27	403
HVR-3	43.11	7.3	5.74	479

Para cálculo do peso total dos perfis, é tido em conta que o vão total dos perfis é cerca de 19.28 [m] (dois com 7 [m] mais dois com 2,46 [m]). O perfil HVR-2 a estrutura terá um peso de 20.9 [kg/m] e com um perfil HVR-3 terá um peso de 24.8 [kg/m]. Os valores de peso unitário podem ser consultados no catálogo *CRT* do anexo C.2.

5.6 Simulação de elementos finitos da estrutura do transelevador

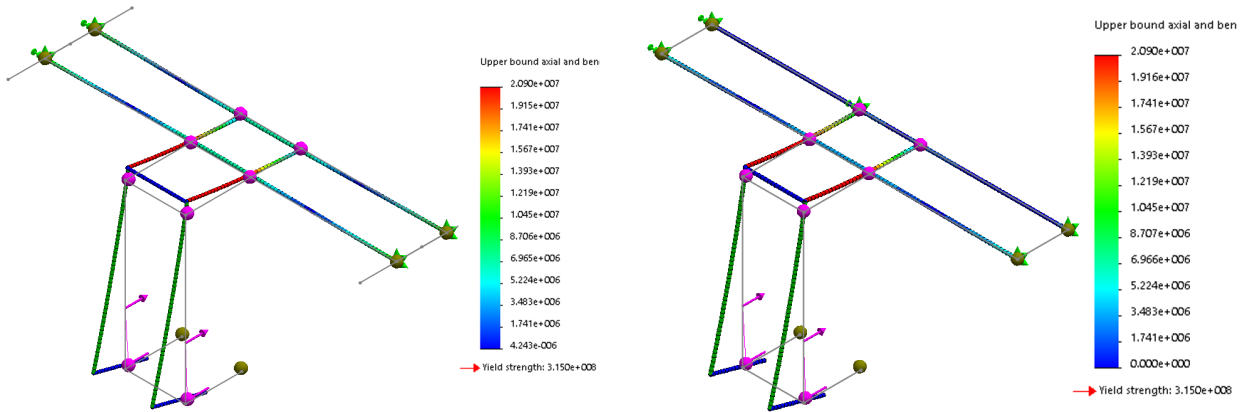
Esta secção tem como objetivo aglomerar todo o estudo anterior. Para tal, será realizada uma simulação com o braço robótico acoplado ao sistema de translação definido pelas vigas de topo. A escolha do perfil (HVR-2 ou HVR-3) das vigas de topo será definido no final desta secção após a comparação de resultados obtidos. Foi posto em causa o facto do coeficiente de segurança (4.8) do perfil HVR-2 ser o suficiente quando todo o conjunto do sistema é simulado.

As propriedades da simulação são:

- Material: S355J2G3, já definido na secção 5.3;
- Geometria do modelo em estudo;
- Definição de condições de fronteira: Encastre nos limites das vigas de topo;
- Definição de condições de carga: 560 [N] da reação dos garfos com o junta de translação T.001.

As figuras 5.31, 5.32 e 5.33 representam os resultados das simulações obtidas.

Tensões máximas



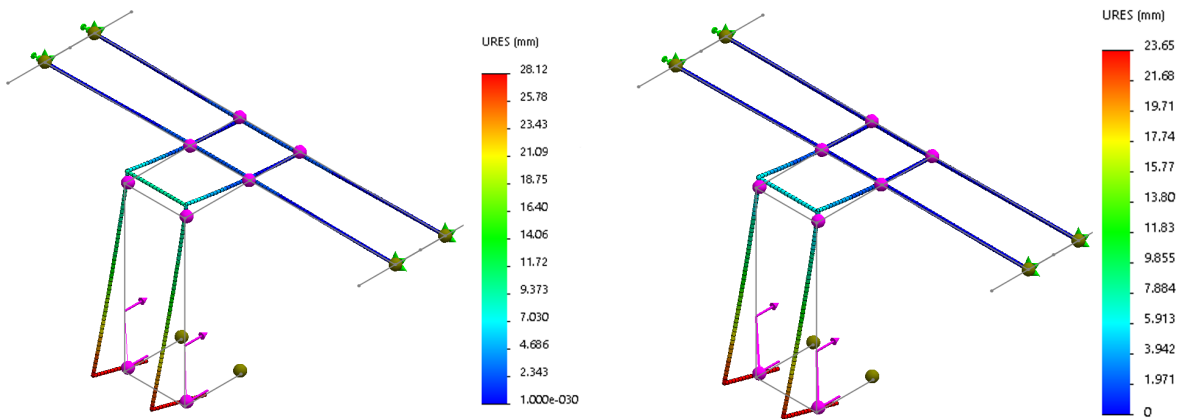
(a) HVR-2 - Tensão máxima: 20.9 (MPa).

(b) HVR-3 - Tensão máxima: 20.9 (MPa).

Figura 5.31: Tensões máximas suportadas nos perfis HVR-2 e HVR-3.

As tensões máximas são idênticas (figura 5.31) e ocorrem no mesmo local, nas vigas UPE80. Este elemento é o mais suscetível à cedência por ser o perfil com menor segundo momento de área, $I_y = 107[cm^4]$.

Deslocamentos máximos



(c) HVR-2 - Deslocamento máximo: 28 (mm).

(d) HVR-3 - Deslocamento máximo: 23 (mm).

Figura 5.32: Deslocamentos máximos dos perfis HVR-2 e HVR-3.

Coefficientes de segurança

Analisando as figuras 5.31, 5.32 e 5.33, é perceptível a influência que a flexão das vigas de topo (em ambos os perfis) tem sobre os garfos do transelevador quando o sistema está em carga. Analisando o deslocamento máximo no modelo completo das vigas *HVR-2* é de **28 [mm]** e *HVR-3* de **23 [mm]**.

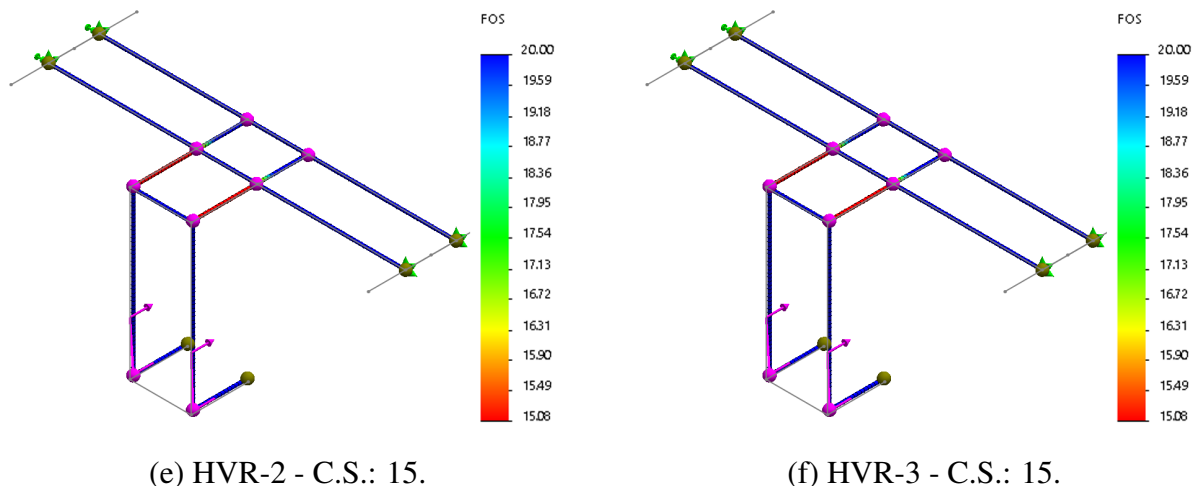


Figura 5.33: Deslocamentos máximos dos perfis HVR-2 e HVR-3.

Assim, a escolha do perfil **HVR-2** é justificada pela diferença de peso (menos 75 [kg]). O valor do coeficiente de segurança é idêntico (C.S. = 15). pela razão do ponto de tensão máxima se localizar no perfil UPE80, elemento comum às duas estruturas.

5.6.1 Simulação de elementos finitos do transelevador considerando o peso próprio

Finalmente, esta secção apresenta a análise da estrutura completa, com a aplicação do perfil HVR-2. Esta simulação requer a adição do plano onde a aceleração da gravidade atua, para determinar o peso total da estrutura do transelevador. As figuras 5.34, 5.36 e 5.35 representam as simulações e respetivos.

Tensão máxima

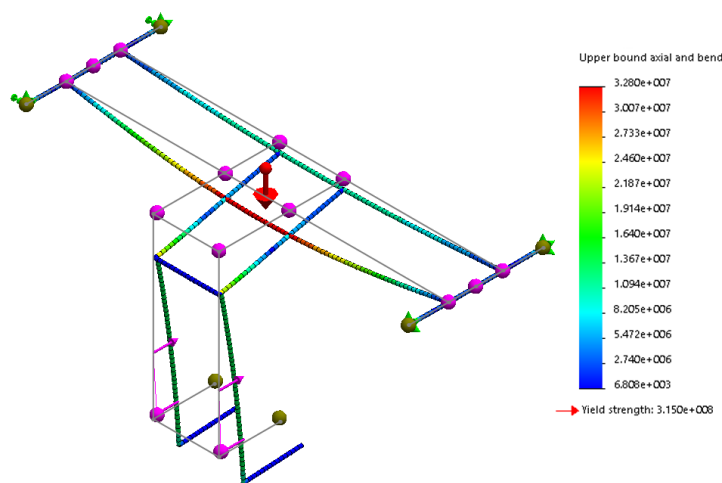


Figura 5.34: Tensão máxima 32.8 MPa.

Deslocamento máximo

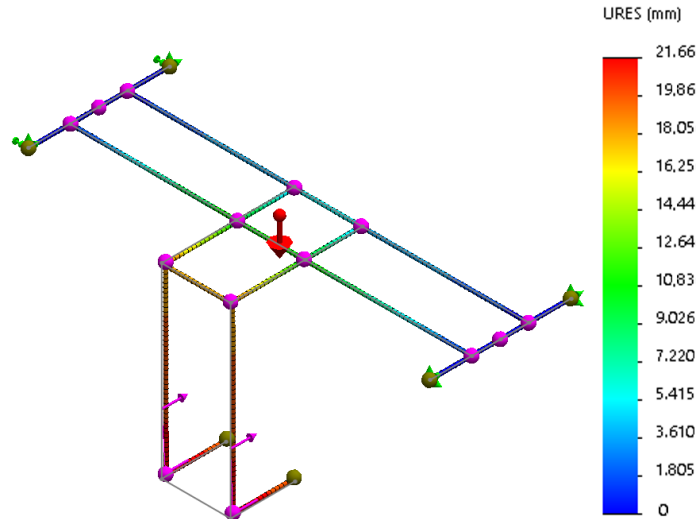


Figura 5.35: Deslocamento máximo 21.66 [mm].

Coefficiente de segurança

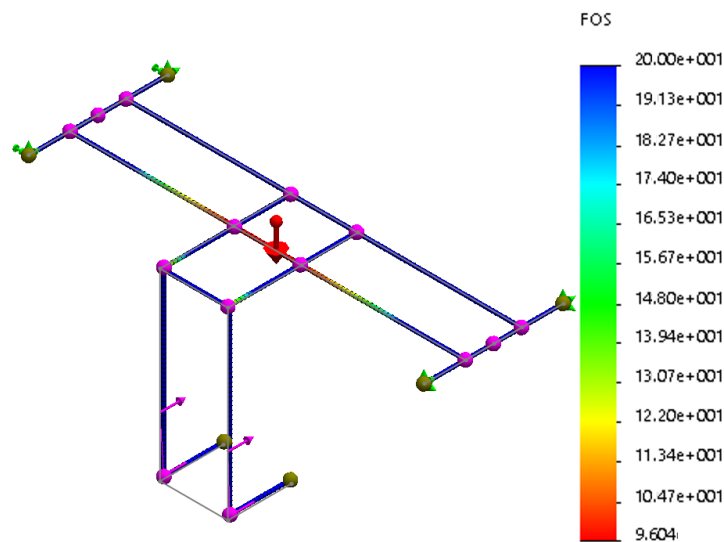


Figura 5.36: Coeficiente de segurança mínimo de 9.60.

As diferenças de tensões máximas (20.9 para 32.8 [MPa]), de coeficientes de segurança mínimos (15 para 9.6) estão relacionadas com a adição do peso adicional da própria estrutura. Por outro lado, os deslocamentos máximos (28 para 22 [mm]) são justificados pelas condições de fronteira serem diferentes da simulação anterior (local dos pontos onde são definidos os encastres para o posterior estudo).

5.7 Peso e capacidade total

Esta secção enuncia todo o projeto atrás de seleção de perfis e respetivos componentes. O peso total de cada componente está caracterizado na tabela 5.6.

Perfil	Peso [kg/m]	Comprimento[mm]	Total[kg]
HVR-2	20.9	2 · 2460	102
HVR-2	20.9	2 · 7000	291
Slew WD-L 0343	72	N/A	72
8 Rolamentos HVB-056	1	N/A	8
Suporte móvel	N/A	N/A	50
Total			613 [kg]

Tabela 5.6: Peso de cada item da secção 2.

O peso adicional do módulo do transelevador (calculado na secção 5.4.5) de 188 [kg] é adicionado ao peso do sistema de translação de cerca de 613 [kg] perfaz cerca de **800 [kg]** adicionais ao veículo.

A secção 4.3.1 refere o tipo de palete ideal (EUR-1 com 4 barris na horizontal) para o tipo de mercadoria. Refere também a capacidade útil do veículo de cerca de 12747 [kg].

Dada a capacidade do Modelo 6 (secção 4.4.3) para 51 paletes, 17 por 3 patamares, e cada palete ter cerca de 4 barris, cada um com o peso de 63.5 [kg] prefaz 12 954 [kg]. Este peso corresponde a cada uma das paletes vir completamente carregada, isto é, o cenário mais desfavorável possível.

Portanto o peso útil do veículo com o sistema passa a ter um valor de carga útil de cerca de 11 947 [kg].

5.7.1 Solução de estivagem do compartimento

Esta secção apresenta uma solução possível para se fazer a estivagem da carga no compartimento. As soluções propostas passam por utilizar o patamar mais alto para cargas mais leves, ou criar limites de carga admissível diferentes nos 3 patamares. Esta abordagem apresenta vantagens em termos dinâmicos do veículo, uma vez que quanto mais baixa a carga, mais baixo será o seu centro de gravidade.

Tendo em conta que a estivagem de 51 paletes com 204 barris (63.5 [kg] cada) não poder ser

feita na totalidade dos 3 patamares (total de 12 954 [kg]) leva a que se ultrapasse o peso útil do veículo (11 947 [kg]).

Para a estivagem da carga e respetivos cálculos foi considerado a paleta EUR-1 com 6 barris por paleta.

Propõe-se a seguinte forma de distribuir as cargas:

- O patamar inferior é completamente carregado com a carga total de 17 paletes com 6 barris (13.5kg/barril vazio), totalizando uma carga líquida de **6 477 [kg]**;
- O patamar intermédio é carregado com metade da capacidade do patamar inferior (6477/2 kg), transportando cerca de **3 240 [kg]**;
- O patamar superior é carregado, transportando metade do intermédio com cerca de **1 620 [kg]**.

De notar que são valores máximos por patamar para uma questão de gestão do transelevador na entrega e recolha de mercadoria (barris cheios e barris vazios, respetivamente).

Sendo o peso útil do veículo de 11 947 [kg] (incluindo o peso do sistema de transelevador) e pelos valores representados na figura 5.37 ter-se-á $(6\ 477 + 3\ 240 + 1\ 620) = 11\ 337$ [kg] menor que o peso útil do veículo (11 947 [kg]) admissíveis. A figura 5.37 representa o modo como o veículo poderá ser carregado.

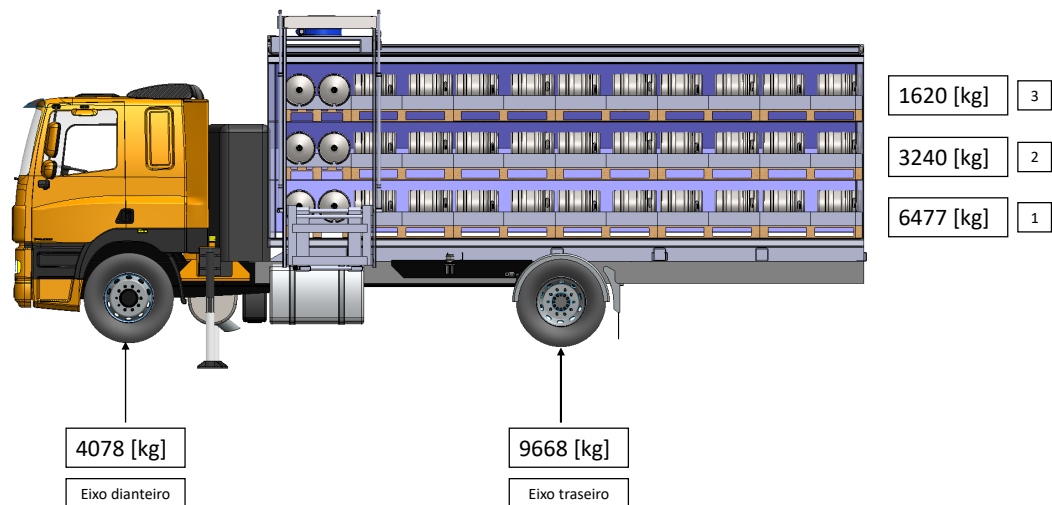


Figura 5.37: Distribuição da carga no veículo.

5.8 Modelo final do sistema de armazenamento automatizado

Esta secção apresenta o modelo do sistema de distribuição inteligente com os componentes e estrutura dimensionada neste capítulo e cujo conceito foi apresentado na secção 3.7. A figura 5.38 apresenta o modelo 3D do compartimento de carga, sistema de abertura em asa e transelevador. O protótipo virtual do veículo de distribuição inteligente pode ser visualizado na figura 5.39. De seguida, no capítulo 6 será apresentada uma arquitetura de controlo e feita uma abordagem dos sensores e atuadores a implementar para automatizar o sistema de distribuição inteligente.

Os sistemas adicionais serão abordados no próximo capítulo (6).

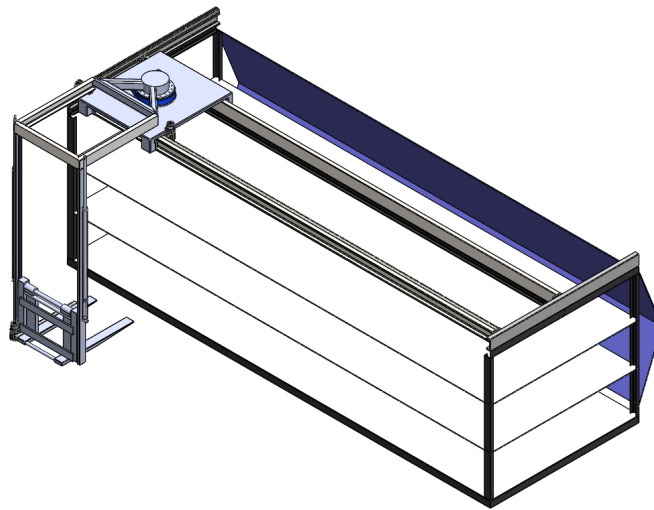


Figura 5.38: Vista isométrica do sistema de armazenamento inteligente.

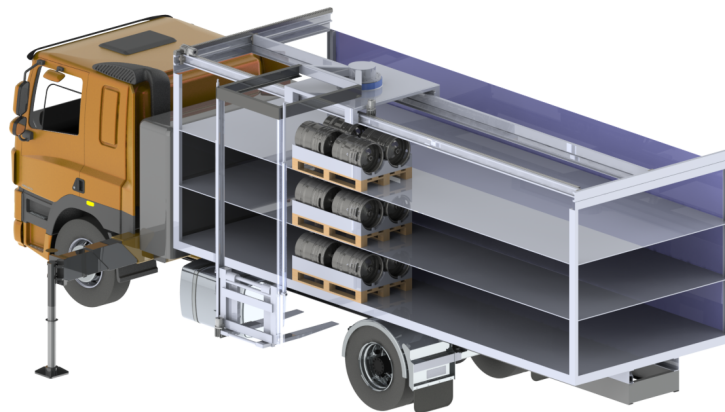


Figura 5.39: Vista isométrica do protótipo virtual desenvolvido.

Capítulo 6

Sensores e Atuadores

O desenvolvimento de um sistema inteligente requer a instalação de dispositivos que tornem possível a implementação de um sistema de controlo. O sistema de distribuição inteligente, cujo conceito é desenvolvido neste trabalho, é um sistema mecatrónico. Assim, para além da componente estrutural, este sistema deverá conter um conjunto de sensores e atuadores ligados a um sistema de controlo/supervisão que o permita operar em modo automatizado.

Este capítulo apresenta um estudo preliminar da arquitetura de sensores e atuadores a incorporar. A arquitetura de controlo proposta permitirá:

- Controlar de modo automático a carga e descarga do veículo (processo de estivagem);
- Detetar obstáculos e/ou condições que não permitam o seu bom funcionamento;
- Gerir os dados referentes distribuição ao longo da rota, como por exemplo, posição das cargas, distribuição do peso, localizações e horas de entrega, entre outros.

6.1 Sensores

O transelevador é um sistema robótico que irá manipular cargas de forma autónoma. As ações dos sistemas robóticos são realizadas a partir de informações obtidas através de sensores. Os sensores medem grandezas físicas, internas ou externas ao equipamento, podendo ser classificadas como:

- Externos - medem variáveis exteriores ao sistema. Ex: Sensores de contacto, proximidade, força, distância;
- Internos - fornecem informação sobre parâmetros internos, velocidade, aceleração. Ex: Potenciómetros, codificadores (*encoders*), sensores de inércia.

O sistema de distribuição inteligente requer a instalação de sensores que o permitam automatizar/supervisionar, como por exemplo: posições de juntas e do elemento terminal (garfos móveis), detenção de carga, obstáculos, entre outros.

6.1.1 Sensores do transelevador

A implementação do transelevador automático requer controlar a posição das várias juntas do sistema de translação e do braço robótico.

Para se realizar o movimento automatizado da carga é necessário:

- Caracterização do tipo de movimento a realizar pelas juntas do sistema de translação e do braço robótico: linear e/ou rotação;
- Implementar sensores de posição linear e/ou angular (conforme o tipo de movimento).

Para esse efeito é sugerido um tipo de encoders lineares (figura 6.1) que permitem, através de leitura digital por pulsos, determinar qual a posição e velocidade do transelevador.

Os *encoders* são dispositivos eletromecânicos que fornecem dados da posição para acionamento dos motores.



Figura 6.1: Exemplo de um encoder linear ¹⁴.

O *encoder* apresentado na figura 6.1 é um exemplo que pode ser aplicado para medir a posição das juntas de translação do sistema. Este sensor, baseia-se na leitura de uma banda magnética que apresenta diferentes valores ao longo do seu comprimento. A sua utilização poderá requer a implementação de um condicionamento de sinal e/ou algoritmo que permita determinar um valor de posição a partir da contagem dos pulsos.

Os *encoders* podem ser:

- Absolutos: fornecem a posição absoluta da junta;
- Relativos: apenas fornecem a posição a partir de valores incrementais. Este tipo de encoders requer, inicialmente a realização de uma tarefa de *homming*, que pode ser obtida movimentando a junta até uma posição conhecida (ex: sensor de fim de curso).

Os sensores fim de curso são usados para segurança do sistema e limitar o espaço de trabalho das juntas do transelevador. Podem ser implementados com recurso a botões de pressão ou *switches* colocados nos limites das juntas de translação ou no suporte móvel do braço robótico. São colocados nos terminais dos carris dos eixos do transelevador e têm como objetivo determinar o final de curso, através de acionamento de um botão de pressão ou *switch*. A informação deve ser usada pelo controlador para parar o movimento de uma junta do transelevador e definir a posição zero dos *encoders*.

Na figura 6.2 apresenta-se os tipos de movimentos do sistema de translação e a posição dos respetivos sensores de fim-de-curso. Os *encoders* são incorporados nos veios dos motores hidráulicos, para determinar o deslocamento linear a partir da rotação dos motores.

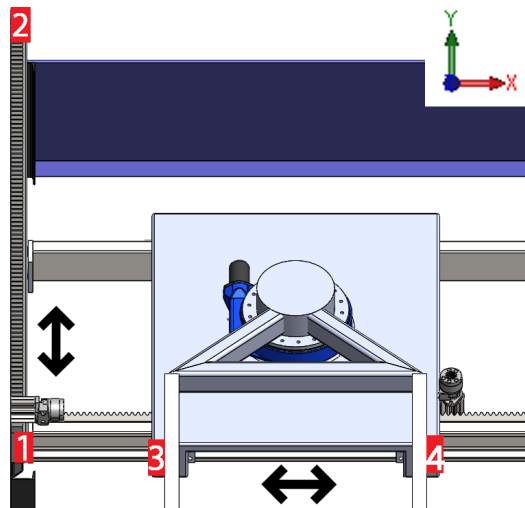


Figura 6.2: Localização dos sensores do sistema de translação.

A figura 6.2 apresenta os movimentos lineares do sistema de translação e a posição onde são colocados os sensores fim de curso:

- Posição transversal do sistema de translação (eixo X figura 6.2): determinada pelos encoders colocados no motor hidráulico e limitada pelos fim de curso (1) e (2), colocados na posição $y=0$ mm e $y=2460$ mm, respetivamente;
- Posição longitudinal do sistema de translação (eixo X na figura 6.2): determinada pelos encoders colocados no motor hidráulico e limitada pelos fim de curso (3) e (4), colocados na posição $y=0$ mm e $y=7000$ mm, respetivamente.

Independentemente do tipo de sensor de posição, por razões de segurança, ambos os movimentos devem ter fim de curso.

¹⁴Figura disponibilizada em <https://www.linearmotiontips.com/how-do-magnetic-linear-encoders-differ-from-optical-versions/>

Para o braço robótico se mover entre a traseira e as laterais do armazém necessita realizar um movimento de 90°, quando se encontra perto das extremidades da caixa. Este movimento permite a estivagem de carga em ambos os lados do compartimento e é realizado por um rolamento *slew*. Para realizar esse movimento, o motor hidráulico do rolamento selecionado *slew*, deve ter um *encoder* acoplado que meça a sua posição angular.

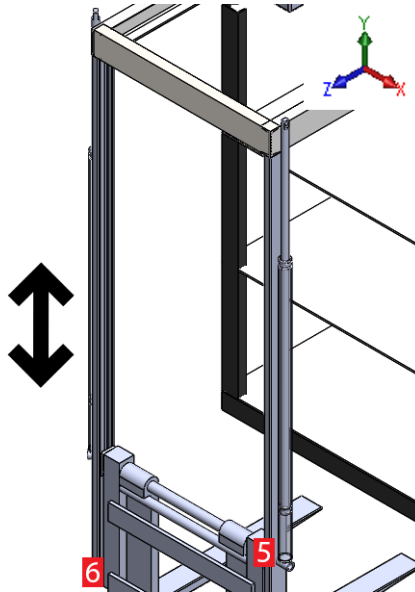


Figura 6.3: Localização dos sensores de posição e fim-de-curso do braço robótico.

A figura 6.3 apresenta a localização dos sensores necessários para realizar o movimento de translação vertical (subida e descida) do elemento terminal do braço robótico (garfos móveis). Este movimento é realizado pelo carril HVR-1 (secção 5.4). O controlo de posição vertical é determinado por um sensor de posição linear (5). Para evitar a colisão com o solo é colocado um sensor de fim de curso (6) na extremidade do carril.

Na figura 6.3:

- **5** é um sensor de posição do transelevador;
- **6** é um sensor de fim-de-curso referente ao carril HVR-1 onde é efetuada a elevação da carga, para delimitar a distância ao solo.

A figura 6.4 representa a localização de sensores que poderão ser adicionados aos garfos móveis (8 e 9) para poder encontrar o plano ideal para aceder à paleta desejada. O sensor 7 sendo um sensor de fim de curso e incluindo o encoder do motor hidráulico para avanço e recuo dos garfos. Na figura 6.4:

- **7** é um sensor de posição das garfos;
- **8 e 9** é um sensor de posicionamento em relação às paletes.

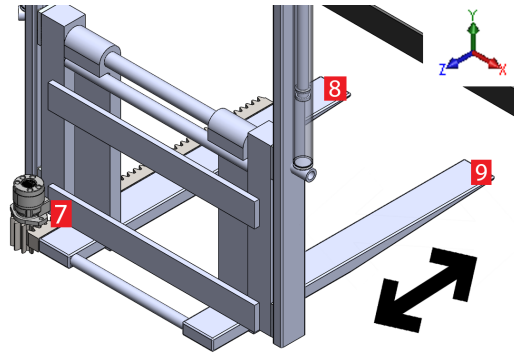


Figura 6.4: Localização dos sensores do elemento terminal (garfo móvel).

As informações da posição das várias juntas obtidas a partir dos sensores será utilizada para identificar a posição cartesiana (x,y,z) do armazém em que a palete é colocada. Esta informação será utilizada no momento da sua descarga para o sistema a localizar no armazém.

6.1.2 Sensores de deteção de obstáculos

Para o transelevador se movimentar em segurança é necessário evitar a colisão com obstáculos. A deteção de obstáculos dentro do alcance e deslocamento do braço robótico é realizado com recurso aos sensores colocados junto aos garfos móveis. A figura 6.5 apresenta localizações possíveis de sensores. A colocação de sensores nas partes laterais (11) e (12) permitem detetar obstáculos durante o movimento lateral do braço robótico. A deteção de obstáculos na retaguarda dos garfos móveis é detetada pelos sensores (13) e (14), que garantem a segurança quando os garfos recuam.

Na figura 6.5 são representadas as possíveis posições para estes tipo de sensores. Nomeadamente quando as forquilhas do transelevador se movem, longitudinal ou transversalmente e o sistema possa detetar obstáculos.

6.1.3 Sensores de deteção de carga no compartimento

Esta secção apresenta os sensores a instalar no compartimento do veículo. Os sensores de deteção de carga (10) permitem detetar a existência de carga para identificar o espaço livre e o ocupado. Além disso, permitirão, no futuro, estimar a distribuição da carga no compartimento com o objetivo de se obter uma melhor centragem de massa no compartimento do veículo durante o processo de estivagem.

A figura 6.6 apresenta 3 sensores de deteção de carga (10) por piso. No entanto, para cumprir esse objetivo, podem-se colocar mais sensores de carga ao longo do piso.

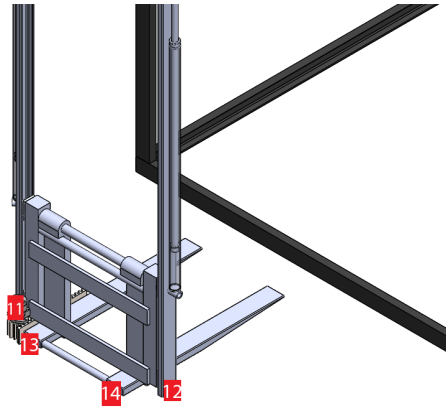


Figura 6.5: Posição dos sensores de detecção de obstáculos.

Para a resolução do problema da centragem de massa e para que o sistema possa gerir a carga, o sistema necessita da informação do estado do veículo a nível de distribuição de peso entre eixos.

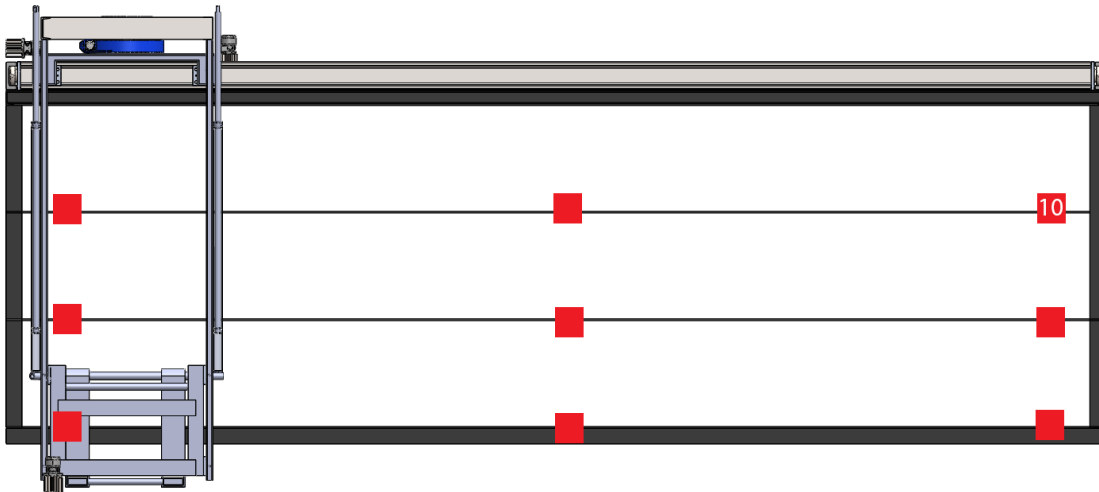


Figura 6.6: Posição dos sensores de detecção de carga no compartimento.

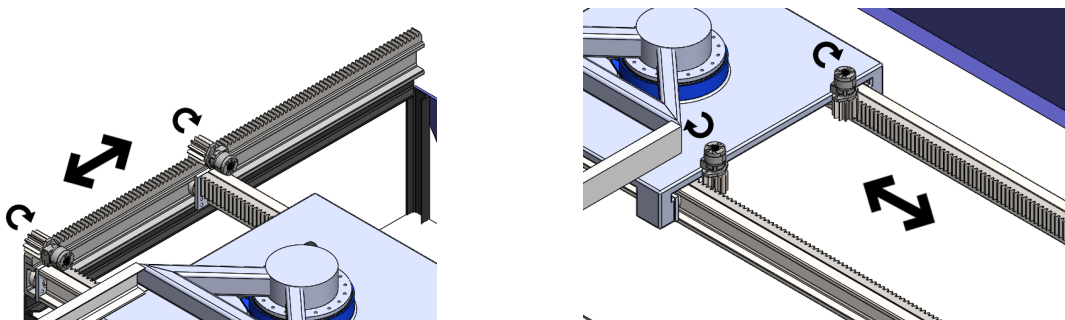
6.2 Atuadores

Um atuador é um elemento que produz movimento atendendo a comandos que podem ser manuais, elétricos ou mecânicos. Para gerar movimentos usualmente implementam-se atuadores lineares ou rotativos, utilizando energia hidráulica, pneumática ou elétrica.

O conceito considera cilindros e motores hidráulicos (dispositivos rotativos com acionamento). O uso de atuadores hidráulicos conferem a precisão necessária para o sistema funcionar corretamente que se apresentam de seguida.

6.2.1 Atuadores das juntas de translação do transelevador

O transelevador tem juntas de translação para realizar os movimentos lineares do sistema de translação dos garfos móveis. Os movimento lineares do sistema de translação serão atuados por motores hidráulicos acoplados a uma cremalheira, conforme representado na figura 6.7.



(a) Movimento transversal do suporte móvel - T.002.

(b) Movimento longitudinal do suporte móvel - T.002.

Figura 6.7: Sistema de atuação dos movimentos de translação do suporte do braço robótico.

Na figura 6.8 é representado o sistema de atuação dos movimentos lineares dos garfos móveis. Estes movimentos são realizados por atuadores hidráulicos para movimentação (motor hidráulico) e levantamento da carga (cilindro hidráulico).

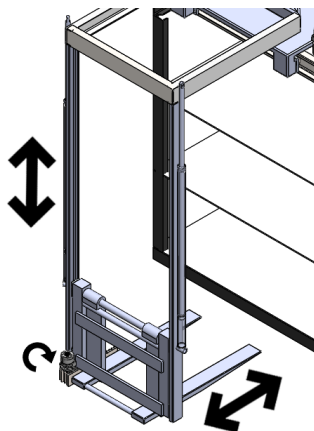


Figura 6.8: Sistema de atuação dos movimentos lineares dos grafos móveis.

6.2.2 Atuadores do movimento de rotação do braço robótico

O sistema de rotação permite rodar o transelevador 90° graus em cada extremidade da retaguarda, permitindo-o percorrer todo o espaço exterior do veículo.

Para realizar o movimento de rotação do braço robótico, sugere-se a utilização de um rolamento *slew*. Este dispositivo realiza o movimento de rotação através de um fuso, acionado por um motor hidráulico, como representado na figura 6.9.

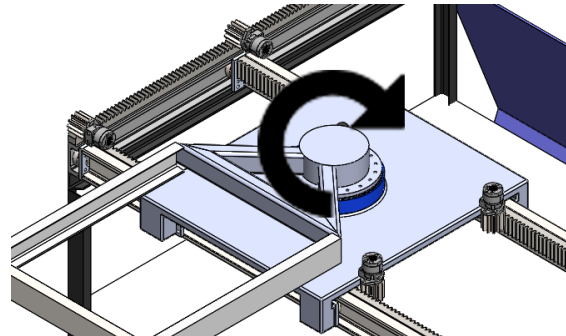


Figura 6.9: Sistema de rotação do braço robótico.

Na figura 6.10 encontra-se a representação do rolamento com os requisitos necessários dadas as especificações do catálogo IMO Antriebseinheit GmbH Co.KG [26] (anexo C.3).

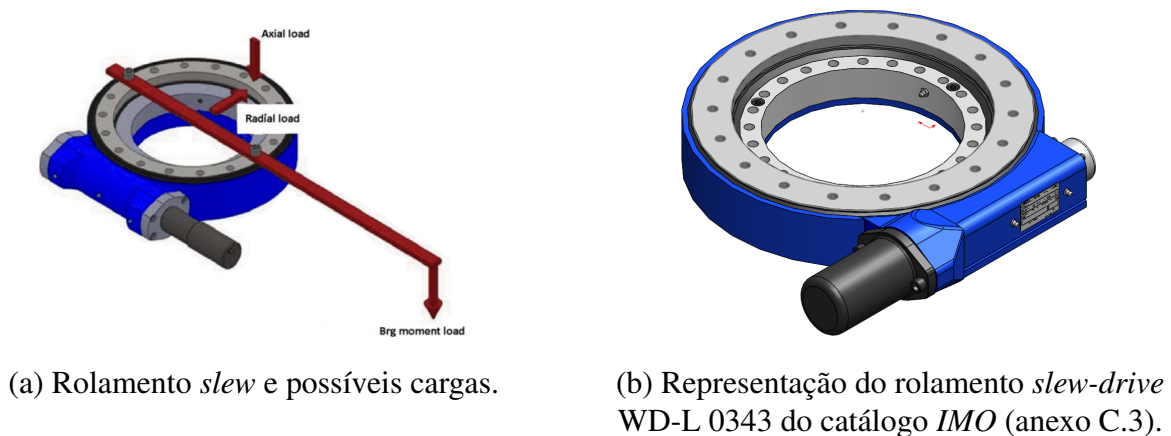


Figura 6.10: Representação do Rolamento *slew-drive*.

A secção 5.5.1 apresenta os cálculos para a determinação dos esforços aplicados no rolamento *slew*.

6.2.3 Sistema do painel de abertura lateral em asa

O sistema de abertura em asa lateral é composto por dois painéis colocados na parte lateral do veículo (ligados entre si) e que abrem para cima do veículo (figura 6.11). Assim, a colocação destes dois painéis em ambos os lados permite abrir completamente as partes laterais do armazém e aceder a todo o espaço. O sistema de translação e a sua colocação foi projetada de modo a que o sistema em asa se possa abrir e dobrar-se sobre o compartimento. Assim, em operação o transelevador

pode mover-se livremente, sem colidir com os painéis de abertura do compartimento. A integração do sistema de abertura em asa com o controlador do transelevador permite que todo o sistema possa ser automatizado em conjunto.

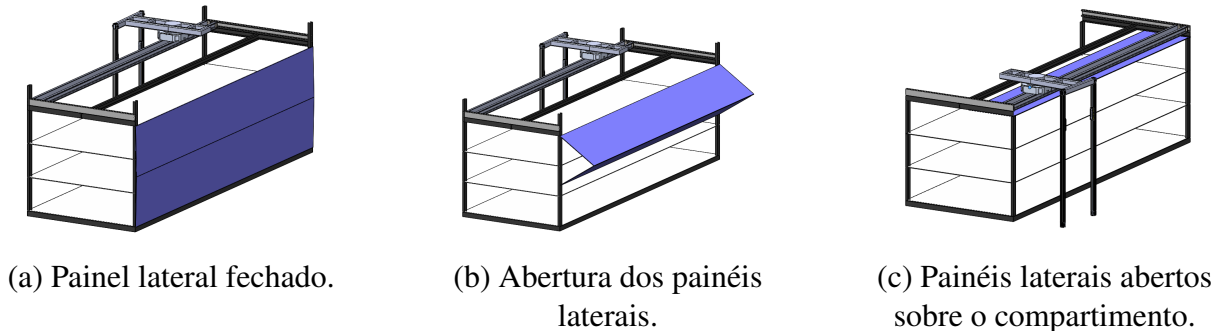


Figura 6.11: Representação do sistema de painéis de abertura em asa lateral.

6.2.4 Estabilizadores do veículo

Para realizar a tarefa de carga e descarga em segurança o veículo deve ser equipado com estabilizadores (exemplo na figura 6.12). Estes dispositivos permitem melhorar a estabilidade e controlo do veículo e a sua atuação será hidráulica e autónoma. Os estabilizadores servem para aumentar a estabilidade aquando da operação. A sua implementação recorre a sensores que, em caso de instabilidade, emitem sinais sonoros e imobilizam o transelevador.

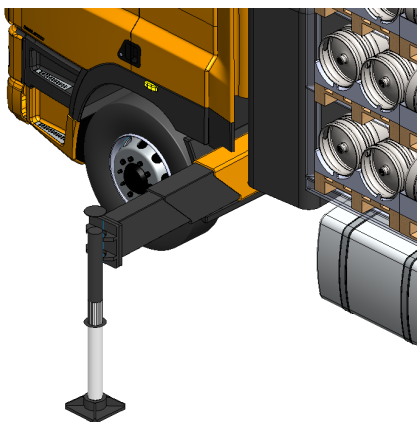


Figura 6.12: Estabilizadores para o veículo ¹⁵.

¹⁵Elemento número 22 referente à lista de itens da secção 3.7.1.

6.3 Arquitetura de controlo

Esta secção apresenta uma arquitetura de controlo e supervisão do sistema de distribuição inteligente. A arquitetura de controlo desenvolvida (na figura 6.13) integra os diferentes sensores e atuadores atrás apresentados (figura 6.14), permitindo o funcionamento em modo automático e/ou comandado e supervisão por parte do operador.

Na figura 6.13 os traços definidos a:

- azul representam os sinais dos sensores;
- vermelho representam a interação do sistema hidráulico com os respetivos sistemas de atuação;
- preto o comando por parte do módulo de controlo ao sistema hidráulico;
- verde representam os sinais sem-fios para o interface *HMI*.

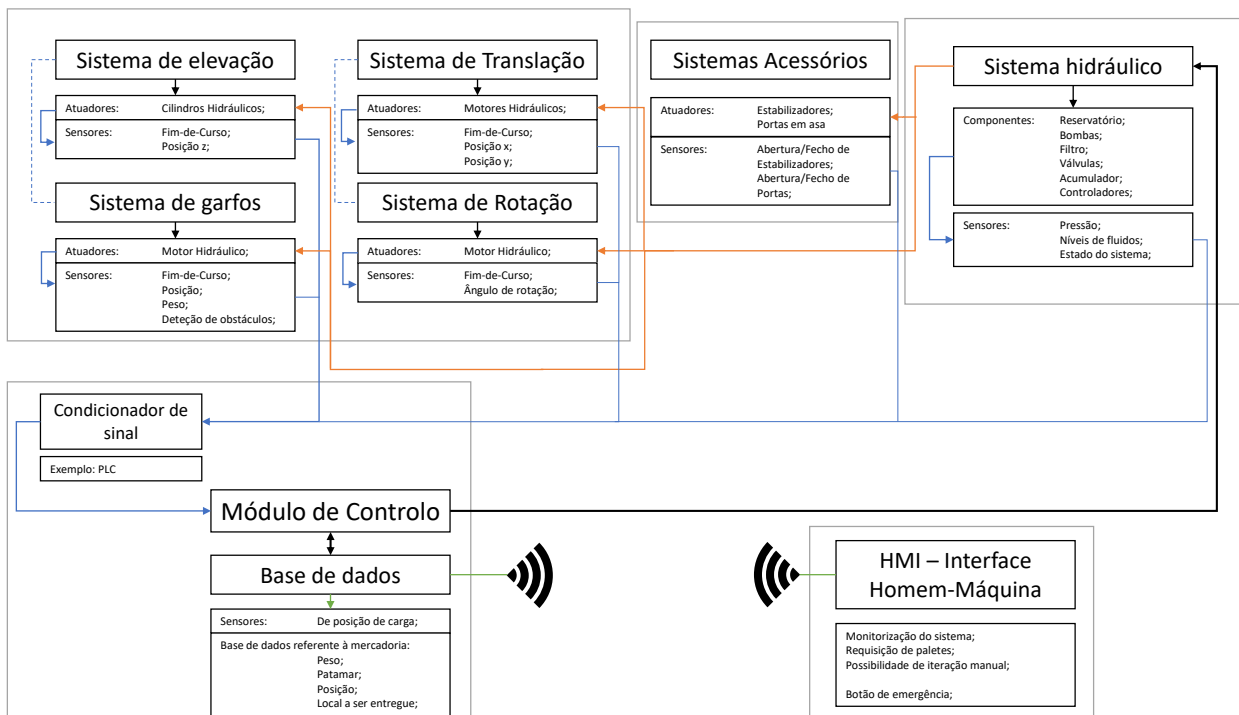


Figura 6.13: Arquitetura de comando e supervisão do sistema de distribuição inteligente.

O comando e supervisão do utilizador é realizado através de uma interface homem-máquina (*HMI*) permite obter as informações acerca do estado da carga, do compartimento e enviar instruções, como por exemplo, para retirar mercadoria que não constava do plano. A comunicação entre o *HMI* e o sistema de distribuição inteligente será realizada através de comunicação sem fios para permitir que o operador se possa movimentar livremente em torno do veículo enquanto o sistema está em funcionamento.

Para complementar a figura 6.13, a figura 6.14 representa os sistemas descritos e respetivos movimentos. No âmbito deste trabalho apenas foi desenvolvido o conceito e projeto de uma arquitetura de controlo que pudesse comandar e/ou supervisionar o sistema de distribuição inteligente. O desenvolvimento é uma tarefa que está apresentada como trabalho futuro.

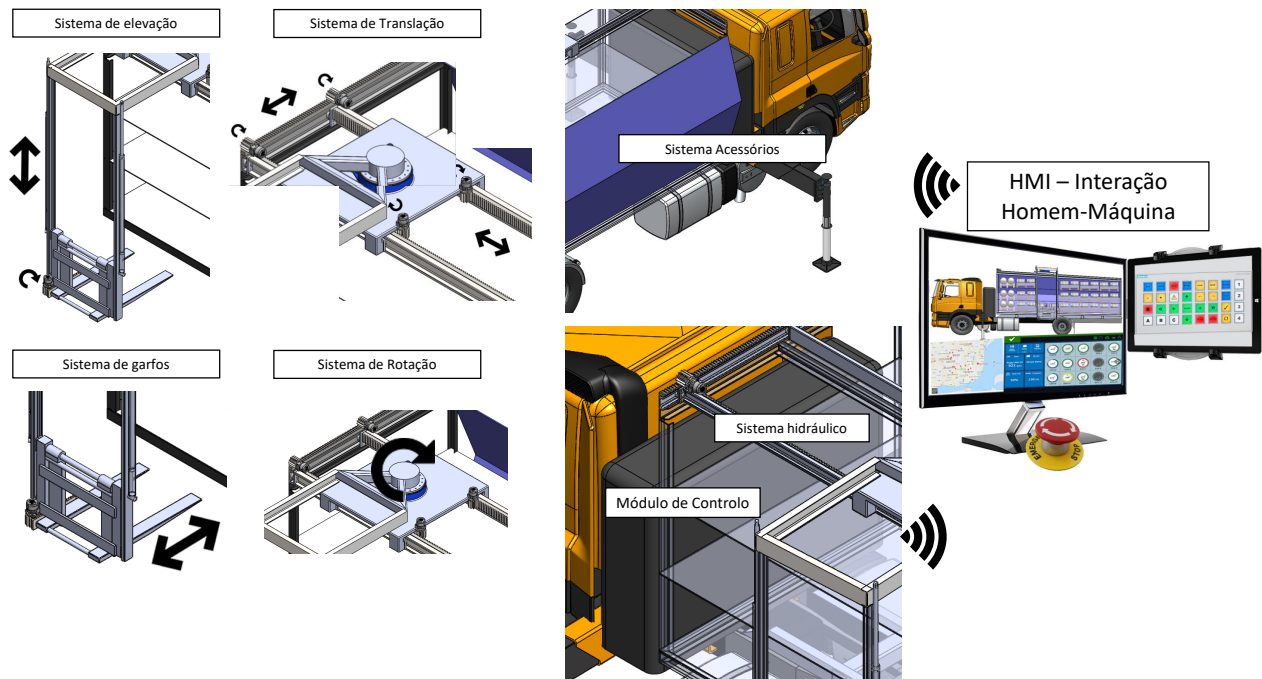


Figura 6.14: Componentes do sistema de distribuição inteligente.

A arquitetura de comando tem em conta um controlo manual, em caso de emergência. Ao veículo poderá ainda ser adicionado um sistema para controlo logístico através de etiquetas *RFiD* e sistemas de localização *GPS* que permitam identificar e controlar o processo de entregas.

Capítulo 7

Conclusões

A realização deste projeto focou-se no desenvolvimento de um novo conceito de veículo de distribuição inteligente com carga e descarga autónoma. O conceito proposto aplica-se à distribuição de bens alimentares, como barris de cerveja, caixas, grades, entre outros, incluindo a entrega e recolha de vasilhame. O projeto de um transelevador e a integração de dispositivos e sistemas existentes permite obter um equipamento inteligente para a estivagem da carga. O conceito de sistema de distribuição inteligente desenvolvido consiste num compartimento de carga de um veículo pesado com um sistema de abertura lateral em asa e um transelevador automatizado fixado no topo. O transelevador é um braço robótico com garfos móveis como elemento terminal, acoplado a um sistema de translação fixo no topo para se mover em torno do veículo a fim de carregar e descarregar as paletes com os produtos e/ou vasilhame.

Previamente à elaboração do conceito, foram analisados aspetos importantes relacionados com a segurança humana. A supervisão e o cumprimento das condições de utilização, sem que interfira diretamente na carga e descarga da mercadoria são fundamentais na elaboração de um conceito de produto e serviço mais seguro e eficiente.

A utilização de modelos virtuais durante o desenvolvimento do conceito ajudou a definir vários aspetos referentes ao projeto do compartimento de carga e às dimensões do veículo face à legislação em vigor. O transelevador foi dimensionado tendo em conta as dimensões e forma do compartimento, bem como as especificações do fabricante dos sistemas adicionados. A influência do peso do transelevador foi analisada tendo em conta a capacidade total do veículo.

Como objetivo de otimizar o espaço útil do compartimento e as suas dimensões foram realizados estudos sobre o processo de estivagem utilizando métodos empíricos e heurísticos. Numa abordagem empírica, através da observação foram analisadas várias formas de organizar o armazém, tendo em conta diferentes modelos de paletes e várias orientações. Posteriormente numa abordagem heurística, com recurso a um algoritmo previamente elaborado para otimização de caixas num espaço retangular obteve-se um novo *layout* com um incremento no espaço total

utilizado. Conclui-se que o método heurístico apresenta os melhores resultados em relação à abordagem empírica no que se refere à relação entre o espaço útil e o número de paletes carregadas.

Durante a elaboração deste trabalho foram analisadas várias formas de armazém e equipamentos transelevadores. Dos vários modelos apresentados, o modelo 6, elaborado a partir dos resultados do método heurístico (secção 4.4.3), demonstrou ser a melhor solução. Este sistema de distribuição inteligente é o que melhor otimiza o espaço de carga e permite proceder à estivagem utilizando um transelevador automatizado em torno do veículo.

Os estudos realizados permitiram analisar a resistência da estrutura do transelevador utilizando métodos analíticos e numéricos. O dimensionamento da estrutura foi realizado tendo em conta as características dos fabricantes e os requisitos necessários. Após o dimensionamento da estrutura do transelevador foram realizadas simulações utilizando o método de elementos finitos, considerando o peso próprio, para validar a resistência da estrutura e os coeficientes de segurança respetivos.

Finalmente, com o objetivo de automatizar e supervisionar o sistema de distribuição inteligente foram analisados os sensores e atuadores a implementar, assim como definida uma arquitetura de controlo. Neste estudo foram analisados os movimentos (lineares e de rotação) das juntas do transelevador e feito análise preliminar sobre o tipo de sensores e atuadores a implementar, assim como a localização para controlar o sistema em segurança.

Foi também definida a cinemática que permite que os vários sistemas interajam entre si, sem colidirem, de modo a que o sistema cumpre os requisitos e objetivos para o qual é concebido.

A arquitetura de controlo desenvolvida apresenta-se como uma abordagem de controlar o sistema de forma autónoma e/ou supervisionada e definir alguns dos sensores atuadores e dispositivos a implementar.

Concluindo, a implementação do sistema de distribuição inteligente desenvolvido neste trabalho permitirá realizar a estivagem de carga (bens alimentares e/ou vasilhame) em ambos os lados do veículo. Este sistema permite obter uma maior flexibilidade logística, de forma autónoma e/ou comandada pelo operador, conforme os objetivos propostos no início da dissertação.

7.1 Sugestões de trabalhos futuros

O trabalho desenvolvido permitiu desenvolver um conceito de produto e serviço que permite uma melhoria ao nível do transporte e distribuição de bens e mercadorias. A aplicação deste modelo permite a diminuição do tempo de transporte e resulta numa diminuição de custos, representando ganhos e benefícios a médio e longo prazo.

Contudo, apesar das várias propostas referentes ao funcionamento do transelevador, este projeto requer ainda um estudo mais aprofundado. De seguida apresentam-se alguns pontos:

- Implementar um sistema de estivagem inteligente que permita determinar a melhor localização para colocar cada palete, tendo em conta o espaço disponível e a distribuição do peso de carga. Esta tarefa requer a definição de métricas como a localização dos sensores de peso e de desnível do veículo, assim como os objetivos a atingir com o processo de otimização;
- Selecionar os sensores e atuadores que permitam ao transelevador controlar o seu movimento no espaço de trabalho. A realização desta tarefa requer programação de um controlador para realizar as tarefas pretendidas, assim como o dimensionamento hidráulico que permita o funcionamento dos atuadores.
- Desenvolver o sistema de controlo e gestão da base de dados de encomendas, clientes, rotas, etc, assim como o interface do dispositivo *HMI* usado pelo utilizador;
- Inserção de modos e/ou métodos de leitura para a criação de base de dados referente às cargas e descargas do compartimento do veículo com um sistema *RFiD*, que possibilitem informação em tempo real acerca da posição da carga no compartimento, e posição do veículo para efeitos de seguimento por parte do cliente.

Referências Bibliográficas

- [1] NP EN 1993-1-1 2010. Np en 1993-1-1 2010. Standard, Instituto Português da Qualidade, Caparica, Portugal, 2010.
- [2] Markus Hesse and Jean-Paul Rodrigue. The transport geography of logistics and freight distribution. *Journal of Transport Geography*, 12(3):171–184, September 2004. ISSN 0966-6923. doi: 10.1016/j.jtrangeo.2003.12.004. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0966692303000772>.
- [3] M. Grazia Speranza. Trends in transportation and logistics. *European Journal of Operational Research*, 264(3):830–836, February 2018. ISSN 0377-2217. doi: 10.1016/j.ejor.2016.08.032. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221716306713>.
- [4] George A. Giannopoulos. Towards a European ITS for freight transport and logistics: results of current EU funded research and prospects for the future. *European Transport Research Review*, 1(4):147–161, December 2009. ISSN 1866-8887. doi: 10.1007/s12544-009-0022-5. URL <https://doi.org/10.1007/s12544-009-0022-5>.
- [5] Juri Kondratjev. Logistics. Transportation and warehouse in supply chain. 2015. URL <http://www.theseus.fi/handle/10024/91465>.
- [6] Elvezia M. Cepolina and Alessandro Farina. A new urban freight distribution scheme and an optimization methodology for reducing its overall cost. *European Transport Research Review*, 7(1):1, March 2015. ISSN 1867-0717, 1866-8887. doi: 10.1007/s12544-014-0149-x. URL <https://link.springer.com/article/10.1007/s12544-014-0149-x>.
- [7] Alessandro Farinelli, Nicolo’ Boscolo, Elena Zanotto, and Enrico Pagello. Advanced approaches for multi-robot coordination in logistic scenarios. *Robotics and Autonomous Systems*, 90:34–44, April 2017. ISSN 0921-8890. doi: 10.1016/j.robot.2016.

- 08.010. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092188901630447X>.
- [8] Marcelo Neri, Wagner L. Soares, and Cristiane Soares. Health conditions in the cargo and passenger road transportation industry: a study based on the Brazilian National Sample Household Survey. *Cadernos de Saúde Pública*, 21(4):1107–1123, August 2005. ISSN 0102-311X. doi: 10.1590/S0102-311X2005000400013. URL http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0102-311X2005000400013&lng=en&nrm=iso&tlng=en.
- [9] Tony Wauters, Fulgencia Villa, Jan Christiaens, Ramon Alvarez-Valdes, and Greet Vanden Berghe. A decomposition approach to dual shuttle automated storage and retrieval systems. *Computers & Industrial Engineering*, 101:325–337, November 2016. ISSN 0360-8352. doi: 10.1016/j.cie.2016.09.013. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360835216303539>.
- [10] James A. Tompkins, John A. White, Yavuz A. Bozer, and J. M. A. Tanchoco. *Facilities Planning*. John Wiley & Sons, January 2010. ISBN 978-0-470-44404-7.
- [11] Kees Jan Roodbergen and Iris F. A. Vis. A survey of literature on automated storage and retrieval systems. *European Journal of Operational Research*, 194(2):343–362, April 2009. ISSN 0377-2217. doi: 10.1016/j.ejor.2008.01.038. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221708001598>.
- [12] Howard Zollinger. AS/RS Application, Benefits and Justification. page 24, January 2001.
- [13] Mecalux. *Estantes paletização dinâmica*, . URL <https://www.mecalux.pt/estantes-paletizacao/estantes-paletizacao-dinamica>.
- [14] Mecalux. *Transelevadores para paletes*, . URL <https://www.mecalux.pt/armazens-automaticos-para-paletes/transelevadores-para-paletes>.
- [15] Teodor Gabriel Crainic, Michel Gendreau, and Jean-Yves Potvin. Intelligent freight-transportation systems: Assessment and the contribution of operations research. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 17(6):541–557, December 2009. ISSN 0968-090X. doi: 10.1016/j.trc.2008.07.002. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0968090X08000648>.
- [16] CargoFloor. Cargo Floor | CargoMatic - horizontal loading/-unloadingsystem. URL https://www.cargofloor.com/en/site/en_cargomatic.

- [17] Daimler. Van for a highly efficient logistics concept. URL <https://www.daimler.com/innovation/specials/vision-van/en/>.
- [18] Anwendungen | BOXmover Technologie. URL <http://www.boxmover.gmbh/anwendungen-konzepte-fuer-den-kombinierten-ladungsverkehr/>.
- [19] Mickey A. Angell, Thomas W. Cearley, James C. Lewis, Arthur R. St Onge, John A. Szysh, and Kenneth W. White. Automated cargo loading system, May 1991. URL <https://patents.google.com/patent/US5015145A/en>.
- [20] Tim Criswell. Automated truck unloader for unloading/unpacking product from trailers and containers, July 2017. URL <https://patents.google.com/patent/US9701492/en>.
- [21] DAF LF, CF and XF105. Bodybuilder guidelines. Bodybuilder guidelines, DAF Trucks N.V., 2012-22.
- [22] Aleksandar Savic, Tijana Sukilovic, and Vladimir Filipovic. Solving the two-dimensional packing problem with m-M calculus. *Yugoslav Journal of Operations Research*, 21(1): 93–102, 2011. ISSN 0354-0243. doi: 10.2298/YJOR1101093S. URL <http://www.doiserbia.nb.rs/Article.aspx?ID=0354-02431101093S>.
- [23] E G Birgin, R D Lobato, and R Morabito. An effective recursive partitioning approach for the packing of identical rectangles in a rectangle. *Journal of the Operational Research Society*, 61(2):306–320, February 2010. ISSN 0160-5682, 1476-9360. doi: 10.1057/jors.2008.141. URL <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1057/jors.2008.141>.
- [24] ArcelorMittal. *Profilés et Aciers Marchands Sections and Merchant Bars Profil- und Stabstahl*. URL http://sections.arcelormittal.com/fileadmin/redaction/4-Library/1-Sales_programme_Brochures/Sales_programme/Sections_MB-ArcelorMittal_FR_EN_DE-V2018-1.pdf. Perfis em U, UPE, EN 10365: 2017.
- [25] PBCLinear. *Hevi-Rail Roller Bearings, Combined Radial Thrust Bearings Cam Roller Technology*. URL <http://www.pbclinear.com/Hevi-Rail-Combined-Roller-Bearings--High-Load-Linear-Motion.LITCRT-005> [r3 09-2016 3500].
- [26] IMO Antriebseinheit GmbH Co.KG. *WD-L Series, Size 0343, single row*. URL http://www.goimo.eu/Product_details.945.0.html?&nid=953&tcid=3. Drawing reference number WD-L 0343/3-04557.

Anexo A

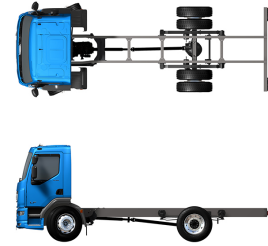
Veículo Chassis-Cabine

A.1 Características do veículo

Specification sheet

LF 230

FA 4X2 Rigid, 19t



018F5603AAAA - 201841p - 27-06-2018

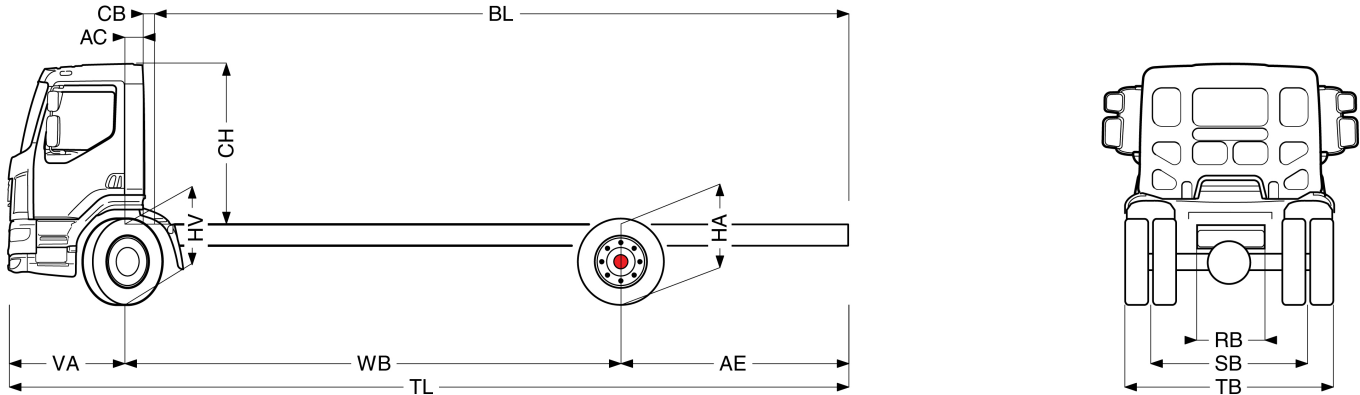
ENGINES
LF 230 PX-7 (172 kW / 234 hp)
LF 260 PX-7 (194 kW / 264 hp)
LF 290 PX-7 (217 kW / 295 hp)
LF 320 PX-7 (239 kW / 325 hp)

GVM ¹⁾	GCM ²⁾
18000 kg	19000 kg
Max. front 7500 kg	
Max. rear 11500 kg	

DAF Distributors Ireland, Baldonnell, Dublin 22, www.daf.ie

LF 230

FA 4X2 Rigid, 19t



	Wheelbase - AE		Unladen weight ⁴⁾			Gross Carrying Capacity			Variable dimensions							
	WB	AE ⁵⁾	Front	Rear	Total	Front	Rear	Total	AC	CB ⁶⁾	CH ⁷⁾	BL ⁸⁾	BL	TL	HA ⁹⁾	HA ¹⁰⁾
DAY CAB	3.45	1.48	3344	1739	5083	4156	9761	12917	0.23	0.12	1.88	3.98	4.51	6.31	1.12	0.96
	3.75	1.63	3366	1760	5126	4134	9740	12874	0.23	0.12	1.88	4.39	4.97	6.75	1.11	0.96
	4.15	1.83	3378	1774	5153	4122	9726	12847	0.23	0.12	1.88	4.94	5.58	7.36	1.11	0.96
	4.45	1.98	3395	1796	5191	4105	9704	12809	0.23	0.12	1.88	5.35	6.04	7.82	1.11	0.96
	4.75	2.13	3404	1810	5214	4096	9690	12786	0.23	0.12	1.88	5.76	6.50	8.27	1.11	0.96
	5.00	2.25	3422	1832	5253	4078	9668	12747	0.23	0.12	1.88	6.10	6.88	8.66	1.11	0.96
	5.30	2.40	3430	1845	5275	4070	9655	12725	0.23	0.12	1.88	6.51	7.34	9.12	1.11	0.96
	5.85	2.68	3473	1916	5389	4027	9584	12611	0.23	0.12	1.88	7.26	8.19	9.97	1.11	0.96
	6.25	2.88	3484	1937	5421	4016	9563	12579	0.23	0.12	1.88	7.81	8.80	10.59	1.11	0.96
	6.60	2.85	3510	1952	5462	3990	9548	12538	0.23	0.12	1.88	8.30	9.35	11.14	1.11	0.96
6.90	3.00	3531	1990	5522	3969	9510	12478	0.23	0.12	1.88	8.71	9.82	11.60	1.11	0.96	
SLEEPER CAB	3.45	1.48	3445	1759	5203	4055	9741	12797	0.63	0.07	1.88	3.31	3.85	6.31	1.11	0.96
	3.75	1.63	3468	1778	5246	4032	9722	12754	0.63	0.07	1.88	3.73	4.32	6.75	1.11	0.96
	4.15	1.83	3482	1791	5273	4018	9709	12727	0.63	0.07	1.88	4.28	4.93	7.35	1.11	0.96
	4.45	1.98	3500	1811	5311	4000	9689	12689	0.63	0.07	1.88	4.69	5.40	7.80	1.11	0.96
	4.75	2.13	3510	1824	5334	3990	9676	12666	0.63	0.07	1.88	5.11	5.86	8.25	1.11	0.96
	5.00	2.25	3528	1845	5373	3972	9655	12627	0.63	0.07	1.88	5.45	6.25	8.63	1.11	0.96
	5.30	2.40	3537	1858	5395	3963	9642	12605	0.63	0.07	1.88	5.87	6.71	9.08	1.11	0.96
	5.85	2.68	3581	1927	5508	3919	9573	12492	0.63	0.07	1.88	6.63	7.57	9.90	1.11	0.96
	6.25	2.88	3593	1948	5541	3907	9552	12459	0.63	0.07	1.88	7.18	8.18	10.50	1.11	0.96
	6.60	2.85	3620	1962	5582	3880	9538	12418	0.63	0.07	1.88	7.68	8.74	10.88	1.11	0.96
6.90	3.00	3642	2000	5642	3858	9500	12358	0.63	0.07	1.88	8.09	9.21	11.35	1.11	0.96	

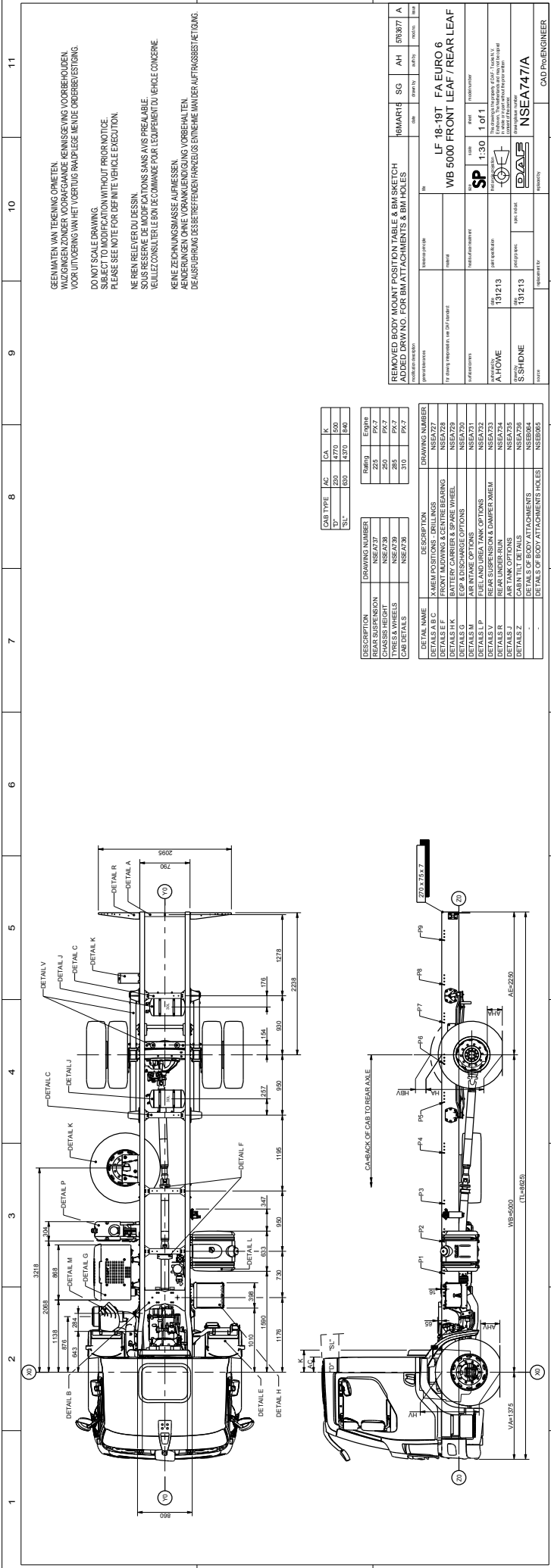
OTHER DIMENSIONS VA: 1.38 HV¹¹⁾: 1.02 HV¹²⁾: 0.94 RB: 0.79 SB: 1.82 TB: 2.55

- GVM in conformity with registration documents.
- GCM in conformity with registration documents.
- Axle load with standard tyre size.
- Chassis and cab weight calculated with: Standard specification items only with 200 litres of fuel, 25 litres of AdBlue and driver of 90 kg, tolerance $\pm 3\%$. Changing of the specification can have major impact on vehicle weight.
- Other AE dimensions may be available for shown WB. Modify rear overhang to the calculated body length.
- CB is based on standard air intake and/or exhaust.
- Cab height is measured from frame member to closed cabin roof hatch.
- Calculate customer specific body length with TOPEC. Body lengths shown based on evenly distributed load at max axle load.
- Unladen height at centre of driven axle(s).
- Laden height at centre of driven axle(s).
- Unladen height at centre of front axle(s).
- Laden height at centre of front axle(s).

Depending on the vehicle configuration a specific option may not be possible. The availability and specification of this vehicle may differ per country. For further information please contact the DAF organisation. Pictures and technical illustrations are not binding in detail and can differ from the standard specification. Subject to modification without prior notice.

018F5603AAAA - 201841p - 27-06-2018

A.2 Desenho Técnico Chassis DAF



GEEN MATEN VAN TEKENING OPMETEN.
 WILKINGEN ZONDER VOORGAANDE KENNISGEVING VOORBEHOUDEN.
 VOOR UITOEFENING VAN HET VOERTUIG RAADPLEEG HET DE ORDERBEVESTIGING.

DO NOT SCALE DRAWING.
 DIMENSIONS MUST BE TAKEN FROM ORIGINAL DRAWING.
 PLEASE SEE NOTE FOR OPENING VEHICLE EXECUTION.

NE RIEN RELEVIER DU DESSIN.
 SOUS RÉSERVE DE MODIFICATIONS SANS AVIS PRÉALABLE.
 VEUILLEZ CONSULTER LE BROU DE COMMANDE POUR L'ÉQUIPEMENT DU VÉHICULE CONCERNE.

KEINE ZEICHNUNGSMASSE AUFNEHMEN.
 ANMERKUNGEN OHNE VORANKÜNDIGUNG VORBEHALTEN.
 DIE AUSFÜHRUNG DES BEZUGNEHMEN FERTIGZEUGS ENTWEGEN MANUVER AUFTRAGSBESTÄTIGUNG.

CAB TYPE	AC	CA	K
371	109	423	624

DESCRIPTION	DRAWING NUMBER	DRAWING NUMBER
REAR SUSPENSION	NSEA727	NSEA727
CHASSIS HEIGHT	NSEA728	NSEA728
CHASSIS WEIGHTS	NSEA729	NSEA729
CAB DETAILS	NSEA730	NSEA730

DETAIL NAME	DESCRIPTION	DRAWING NUMBER
DETAILS A B C	X-MEM POSITIONS, DRILLINGS	NSEA727
DETAILS D	REAR SUSPENSION	NSEA728
DETAILS E	BATTERY CARRIER & SPARE WHEEL	NSEA729
DETAILS F	ECR & DISCHARGE OPTIONS	NSEA730
DETAILS G	AIR INTAKE OPTIONS	NSEA731
DETAILS H	REAR UNDER-RUN	NSEA732
DETAILS I	REAR UNDER-RUN - CUMULATIVE	NSEA733
DETAILS J	AIR TANK OPTIONS	NSEA734
DETAILS K	CABIN TILT DETAILS	NSEA735
DETAILS L	REAR TAIL LIGHTS	NSEA736
DETAILS M	DETAILS OF BODY ATTACHMENTS HOLES	NSEA737

REMOVED BODY MOUNT POSITION TABLE & BIA SKETCH
 ADDED DRAWING FOR BM ATTACHMENTS & BM HOLES

REMARKS: SG AH 558377 A

LF 18-19T FA EURO 6
 WB 5000 FRONT LEAF / REAR LEAF

SP 1-30 1 of 1

DATE: 13/12/13
 DRAWN BY: S SHONE
 CHECKED BY: S SHONE

PROJECT: NSEA747/A

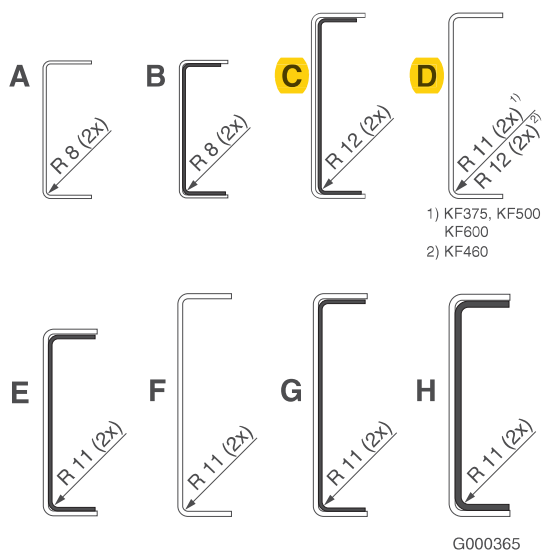
CAD PROJECT ENGINEER

A.3 Catálogo DAF BodyBuilders - Chassis

2.10 DIMENSÕES RELACIONADAS COM O CHASSIS E A CABINA

Para obter detalhes do chassis (incluindo as posições da prancha) e da localização dos componentes, consulte o esquema dos construtores de carroçarias do veículo em questão. Estes esquemas podem ser obtidos junto da DAF e estão disponíveis na Internet (www.dafBBI.com). Consulte também a secção 1.5: "Especificação e esquemas da estrutura do veículo".

2



Especificação do chassis: Tratores e Rígidos

Tipo de veículo ⁽¹⁾ (4)	Dimensões da barra lateral [mm]	Secção do chassis	Dimensões da prancha [mm]	Secção do chassis	Wx _{chassis} ⁽²⁾ [cm ³]		Material, σ_v ⁽³⁾ [N/mm ²]
					[-----]	[[-----]]	
FT (LF55)	260x75x6	D	-	-	322	-	460
FT	260x75x6	D	+ 245x65x5	E	322	524	600
	260x75x7	D	+ 245x65x5	E	368	584	500
FTG	260x75x7	D	+ 245x65x5	E	368	584	500
FTP	260x75x6	D	-	-	322	-	600
FTR	260x75x7	D	+ 245x65x5	E	368	584	500
FTS	310x75x7	F	+ 295x65x5	G	476	766	500
FTT							
FTM	310x75x8,5	-	+ 292x65x8,5	H	-	1004	375
FA (LF45)	192x66,5x4,5	D	+ 180x47/62x4	B	148	238	460
FA (LF55) CF65	260x75x6	D	+ 245x60x5	C	322	524	460
FA/N FAR/S	260x75x7	F	+ 245x65x5	E	368	584	375
	310x75x7	D	+ 295x65x5	G	476	766	375
FAN (LF55)	260x75x6	D	+ 245x60x5	C	322	524	460 ⁽⁵⁾
FAT	260x75x7	D	+ 245x65x5	E	368	584	500
	260x75x7 ⁽⁶⁾	D	+ 245x65x5	E	368	584	375
	310x75x6	F	+ 295x65x5	G	417	696	600
	310x75x7	F	+ 295x65x5	G	476	766	375
	310x75x8,5	-	+ 292x65x8,5	H	-	1004	375
FAX	310x75x7	-	+ 295x65x5	G	476	766	375
	310x75x8,5	-	+ 292x65x8,5	H	-	1004	375
FAD	310x75x6	F	+ 295x65x5	G	417	696	600
	310x75x7	F	+ 295x65x5	G	476	766	375
	310x75x8,5	-	+ 292x65x8,5	H	-	1004	375
FAG/FAK/ FAQ	310x75x7	F	+ 295x65x5	G	476	766	375

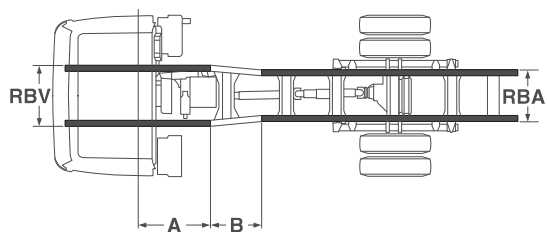
- (1) Consulte sempre a especificação do veículo e/ou os esquemas dos construtores de carroçarias disponíveis na DAF. Na descrição geral do chassis e nas especificações, não podem ser interpretados nenhuns direitos.
- (2) Momento de resistência Wx [cm³] do chassis contra a curvatura (atenção: os valores indicados aplicam-se a 2 barras laterais).
- (3) Material do chassis: ponto de rendimento mínimo 0,2% [N/mm²]. Carga permitida 0,4x (dinâmica).
- (4) Os tipos de chassis com estrutura de 192x66,5x4,5 ou 260x75x6(7) mm e pranchas de reforço interior **contínuas** (a todo o comprimento do chassis) - o que também inclui o chassis G(V) - requerem a resistência adicional e/ou rigidez de uma construção de subestrutura/superestrutura (consulte também o texto sobre o design do chassis e a secção 4).
- (5) Material de acordo com a norma: BSEN 10149-2:1996:S460MC.
- (6) Chassis FAT com distância entre eixos de 600 cm e ressalto traseiro (AE) de 325 ou 360 cm.

Informações do chassis

Especificação do chassis: Dimensões principais

Tipo de veículo (1)	A	B	RBV	RBA
Série LF45	-	-	859	859
Série LF55 14-16 toneladas	693	284	862	790
Série LF55 18-19 toneladas Série CF65	643	284	862	790
Série CF75-85	1100	800	930	790
FAD CF75-85 FAC/X CF85 FAD XF	1500	800	930	790
Série XF	1100	800	930	790

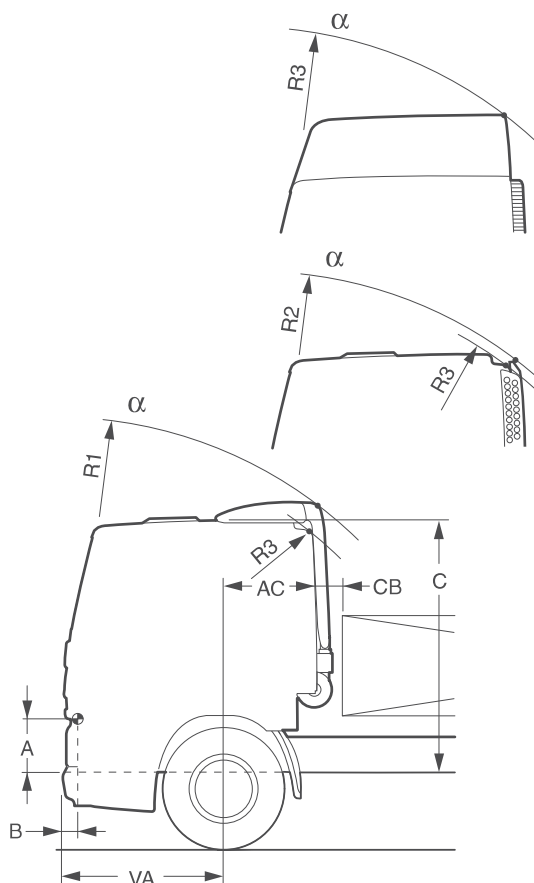
(1) Os valores A, B, RBV e/ou RBA para chassis FTT/FAT com eixos traseiros com suspensão pneumática podem ser diferentes. Contacte a DAF para obter mais informações.



G000281

Dimensões relacionadas com a cabina e dimensão CB para posicionamento da superestrutura

Para obter mais detalhes sobre as dimensões relacionadas com a cabina (por exemplo, o espaço ocupado pelo para-choques quando a cabina está inclinada), veja o detalhe 'Z' dos esquemas dos construtores de carroçarias.



G001132-01

2

Dimensões relacionadas com a cabina e dimensão CB.

Série	Cabina	A	B	C ⁽²⁾	VA	AC	CB ⁽¹⁾	R1	R2	R3	α ⁽³⁾
LF 45	Day ⁽⁴⁾	141	122	2082	1275	330	70	2580	--	2450	53°
	Sleeper	141	122	2082	1275	730	70	2865	--	2715	53°
LF 55 (14-16t)	Day ⁽⁴⁾	209	44	2150	1325	280	70	2580	--	2450	55°
	Sleeper	209	44	2150	1325	680	70	2865	--	2715	55°
LF 55 (18-19t)	Day	209	44	2150	1375	230	120	2580	--	2450	55°
	Sleeper	209	44	2150	1375	630	70	2865	--	2715	55°
CF (Day)	(CF65)	320	110	2119	1380	390	160	2580	2350	2350	60°
	(CF75)	310		2219							
	(CF85)	410		2219							
CF (Sleeper)	(CF65)	320	110	2119	1380	820	150	2875	2670	2650	60°
	(CF75)	310		2219							
	(CF85)	410		2219							
CF (Space Cab)	(CF65)	320	110	2800	1380	820	150	--	--	3190	60°
	(CF75)	310		2900							
	(CF85)	410		2900							
XF105	Comfort Cab	500	100	2475	1370	880	190	--	--	2896	60°
	Space Cab	500	100	2775	1370	880	190	--	--	3095	60°
	SuperSpace Cab	500	100	3165	1370	880	190	--	--	3337	60°

(1) Distância entre a parede traseira da cabina e a extremidade dianteira da superestrutura, incluindo o espaço livre mínimo necessário. Os valores indicados para os chassis LF45 e LF55 (14-16t) são com motores de 4 cilindros e para o chassis LF55 (18-19t) com motor de 6 cilindros e para toda a série LF com cabina com suspensão de mola.

Nota: Nas situações seguintes, é necessária uma dimensão CB maior:

Série LF com:

- reservatório de água por trás da Day Cab da LF45 (série de híbridos): CB = 140 mm (reservatório de expansão para sistema de arrefecimento híbrido).
- Day Cab LF55 e motor FR (4 cilindros) em combinação com carroçaria instalada em chassis sem subestrutura: CB = 130 mm (distância adicional para a alavanca das mudanças)
- Day Cab e motor GR (6 cilindros): CB = 130 mm
- admissão de ar alta: CB = 175 mm
- chaminé de escape em LF45: CB = 182 mm
- chaminé de escape em LF55: CB = 272
- silencioso do escape vertical em chassis LF: CB = 400 mm (unidade de filtro de ar não incluída); CB = 660 mm (unidade de filtro de admissão de ar incluída)

CF65

- chaminé de escape: CB = 276 mm

Série CF75-85 com:

- unidade de separador de humidade instalada (posicionada atrás da parede traseira da cabina): CB = 195 mm (day cab); CB = 175 mm (sleeper cab)
- filtro ciclónico com abertura de admissão de ar posicionada no topo do painel do tejadilho: CB = 240 mm (Day Cab) ou 230 mm (Sleeper Cab)
- filtro ciclónico com abertura de admissão de ar na parede traseira da cabina: CB = 160 mm (Day Cab) ou 150 mm (Sleeper Cab)
- chaminé de escape: CB = 240 mm
- chaminé de escape com filtro de fuligem vertical integrado: CB = 370 mm

Série XF com:

- filtro ciclónico: CB = 260 mm
- admissão de ar debaixo da cabina: CB = 100 mm
- chaminé de escape: CB = 240 mm (extremidade do tubo 90 graus transversal à direção de condução)
- chaminé de escape: CB = 340 mm (extremidade do tubo virada para trás)

(2) Tubo de admissão no ponto mais elevado instalado no tejadilho da cabina: série LF com Day Cab C + 130 mm, série CF C + 139 mm.

(3) O ângulo de inclinação máximo para a série LF pode ser limitado se a cama superior estiver montada no tejadilho da cabina; verifique 5.2: "Pesos adicionais máximos permitidos da cabina".

(4) Para LF45 com cabina com suspensão de borracha: A = 151, B = 152, C = 2052, R1 = 2535, R3 = 2415.
Para LF55 com cabina com suspensão de borracha: A = 219, B = 74, C = 2120, R1 = 2535, R3 = 2415.

A.4 Catálogo DAF BodyBuilders - Superestructuras

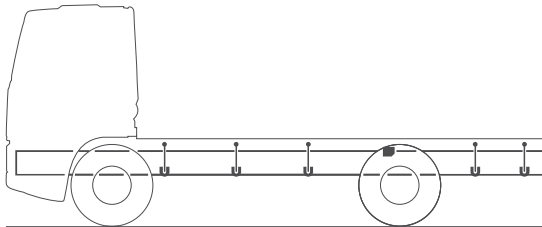
(1) A tabela acima fornece informações sobre algumas das secções da subestrutura utilizadas mais frequentemente. Esta tabela também pode ser útil para a seleção de materiais alternativos com propriedades semelhantes. As dimensões, os pesos e os dados estáticos aplicam-se a secções sem pranchas!

3.2 BAM - MÉTODOS DE FIXAÇÃO DA CARROÇARIA

Tipo de BAM (Método de fixação da carroçaria) - descrição geral

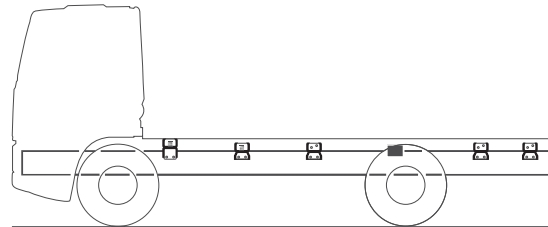
A DAF utiliza **cinco** métodos de fixação de carroçarias (BAM 1, 2, 3, 4 e 5) para a instalação de superestruturas. Ao utilizar uma das três técnicas básicas de fixação (ou uma combinação delas), pode-se realizar uma fixação ótima e homogênea do chassis e da superestrutura para cada tipo de superestrutura. As técnicas básicas são: fixação não rígidas, fixação rígida e fixação com consolas.

3



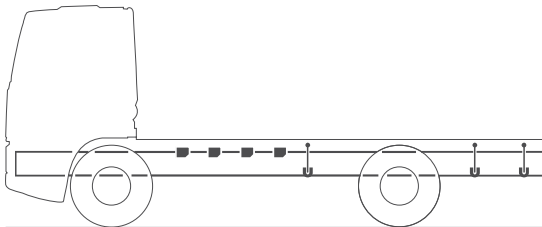
96120404-309

BAM 1: fixação total não rígida
(Séries CF75-85 e XF)



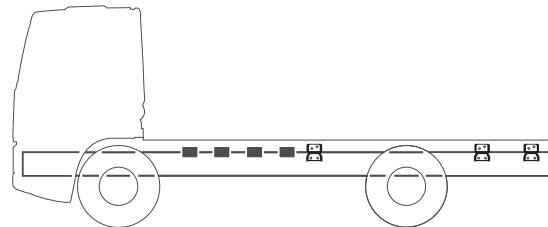
G000429

BAM 1: fixação total não rígida
(Séries LF e CF65)



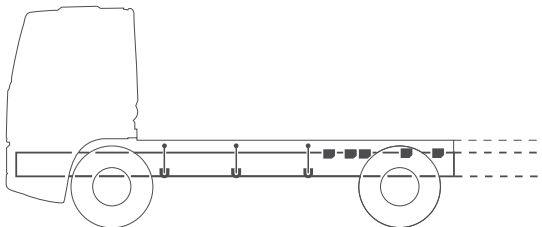
96120404-310

BAM 2: fixação rígida na dianteira
(Séries CF75-85 e XF)



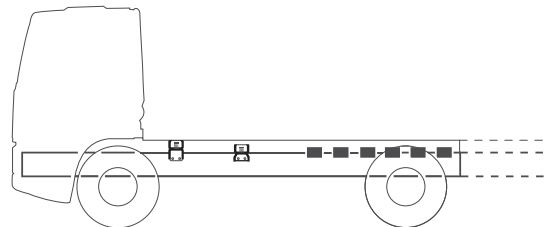
G000430

BAM 2: fixação rígida na dianteira
(Séries LF e CF65)



96120404-311

BAM 3a + 3b: fixação rígida na traseira
(Séries CF75-85 e XF)



G000431

BAM 3: fixação rígida na traseira
(Séries LF e CF65)

3.3 PRIMEIRO PONTO DE FIXAÇÃO

Primeiro ponto de fixação

O chassis DAF fornece o primeiro ponto de fixação (não rígida) para os métodos de fixação BAM 1 e BAM 3.

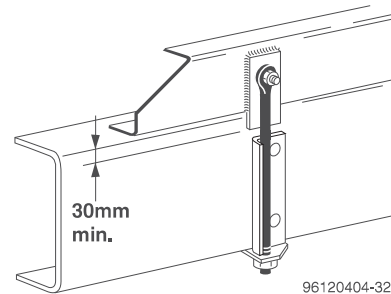
Se esta fixação estiver preparada com um suporte para o tirante DAF, mas sim outro tipo de suporte ou um orifício roscado num suporte de mola, deve-se utilizar um perno M16 normal (tipo 8,8). O comprimento deste perno deve ser de, no mínimo, 150 mm. A consola ou placa utilizada para encaixar este perno na subestrutura deve **sempre projetar-se, pelo menos, 30 mm** para baixo ao longo da **estrutura do chassis**. Isto é necessário para evitar a deslocação lateral da subestrutura.

Na série CF65 com fixação não rígida na extremidade dianteira (BAM 1 + 3), a primeira e a segunda consola devem ser sempre equipadas com uma mola com pressão para garantir uma fixação não rígida suficiente. Para impedir a deslocação lateral da subestrutura, a primeira consola deve ser projetada, pelo menos, 30 mm acima da estrutura do chassis, ou deve-se instalar uma placa de suporte adicional na subestrutura, projetada, no mínimo, 30 mm para baixo ao longo da estrutura do chassis. Consulte o capítulo anterior para obter informações mais detalhadas.

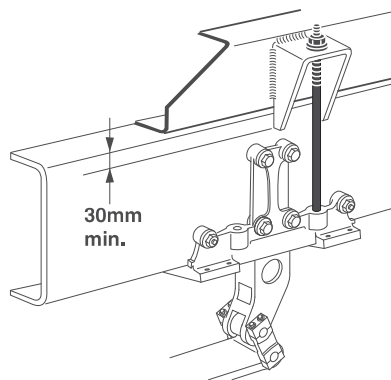
Para alguns exemplos dos primeiros pontos de fixação, que podem ser encontrados em várias séries de veículos, consulte as ilustrações desta secção.



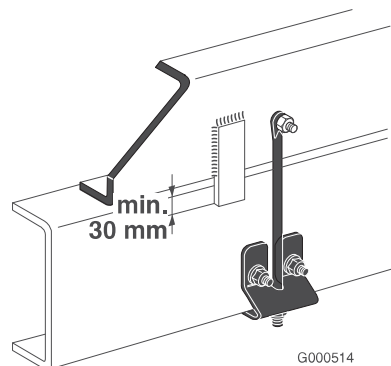
NOTA: Consulte a tabela no final deste capítulo para saber as posições preparadas de fábrica do primeiro ponto de fixação em relação à linha central do eixo dianteiro.



Primeira fixação, série CF75-85 e XF



Com perno no suporte da mola, séries CF75-85 e XF



Primeira fixação, séries FAT CF75-85 com Day Cab (sem sistema de escape vertical)

Posição do primeiro ponto de fixação (não rígida) em relação à linha central do eixo dianteiro								
Tipo de veículo	Eixo dianteiro com suspensão de molas				Eixo dianteiro pneumático			
	Cabina dia		Sleeper Cab		Cabina dia		Sleeper Cab	
	Lado esquerdo	Lado direito	Lado esquerdo	Lado direito	Lado esquerdo	Lado direito	Lado esquerdo	Lado direito
FA LF45 7,5/12 toneladas	611 ⁽²⁾		1205	1198 ⁽¹⁾	-		-	
FA/N LF55 14/16 toneladas	620 ⁽²⁾		894		-		-	
FA LF55 18-19 toneladas	570 ⁽²⁾		844		-		-	
FA CF65	851 ⁽²⁾		1040		-		-	
FA CF75-85	562 ⁽³⁾		1072		562		922	
FA XF	-		1072		-		-	
FAS/R/N CF75-85	562 ⁽²⁾		922		562		922	
FAN XF	-		922		-		922	
FAG CF75-85	619 ⁽³⁾		1072		-		-	
FAT CF75-85	571 ⁽²⁾		922		-		-	
FAT XF	-		922		-		-	
FAD XF	-		1015		-		-	
FAD CF75	629 ⁽²⁾		1015		-		-	
FAC/D/X CF85	629 ⁽²⁾		1015		-		-	
FAK XF	-		1067	1048	-		-	

(1) Distância válida para chassis equipado com baterias 125 Ah. Se estiverem instaladas baterias 175 Ah, então a distância é de 1281 mm.

(2) Se estiver instalado um sistema de escape vertical (tubo), então utilize os valores indicados para Sleeper Cab.

(3) Se estiver instalado um sistema de escape vertical (tubo), então a distância é de 677 mm.

3.4 TIPO DE SUPERESTRUTURA/ MATRIZ DE BAM

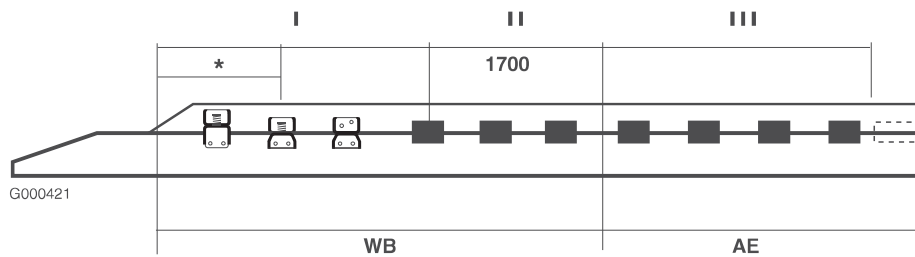
A seguinte descrição apresenta o método de fixação especificado pela DAF para cada um dos tipos de superestrutura mais comuns. O objetivo é alcançar um compromisso ideal entre força e rigidez do chassis para superestruturas específicas (força), por um lado, e a máxima flexibilidade para conforto no veículo, por outro. Contacte a DAF para conhecer as variantes de superestruturas não indicadas nesta matriz.

Informações gerais sobre as superestruturas

Descrição de BAM com base nos tipos de superestrutura						
TIPO DE SUPERESTRUTURA	BAM 1	BAM 2	BAM 3a ⁽¹⁾	BAM 3b ⁽¹⁾	BAM 4	BAM 5
Carroçaria fixa	■					
Carroçaria desmontável com subestrutura	■					
Carroçaria de volume (elevado)	■		■			
Carroçaria com monta-cargas				■		
Camião cisterna com subestrutura	■					
Camião cisterna com fixação da consola						■
Veículo de recolha do lixo compactador	■		■			■
Veículo de recolha de lixo com tambor rotativo					■	
Vassoura mecânica	■		■			
Limpeza de esgotos	■		■			
Camião basculante com cilindro dianteiro			■			
Camião basculante com cilindro central			■			
Camião basculante de três direções			■		■	
Carroçaria basculante desmontável					■	
Sistema de braço de carregamento					■	
Betoneira e bomba de betão					■	
Guincho de carregamento do veículo imediatamente atrás da cabina		■			■	
Guincho de carregamento do veículo na extremidade traseira do chassis			■		■	
Veículo de reboque					■	
Plataforma hidráulica (depende do tipo)	■				■	
Suporte do empilhador				■		
Veículos para combate a incêndios (autotanques)	■					■

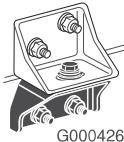
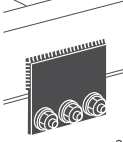
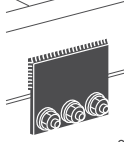
(1) Em chassis LF e CF65, utilize o BAM3 em vez do BAM3a ou BAM3b.

FA LF55 18T, BAM 3.



* Consulte 3.3: "Primeiro ponto de fixação".

3

Distância entre eixos [m]	Suspensão do eixo traseiro	I (1)	II	III
		 G000426	 -325	 -325
≤ 3,45	Parabólica + pneu-mática	2	2	2
≤ 3,75	Parabólica + pneu-mática	2	3	2
≤ 4,15	Parabólica + pneu-mática	3	2	3
≤ 4,45	Parabólica + pneu-mática	3	3	3
≤ 4,75	Parabólica + pneu-mática	4	2	3
≤ 5,85	Parabólica + pneu-mática	5	2	3
≤ 6,25	Parabólica + pneu-mática	6	2	4

(1) A primeira e a segunda consola têm sempre suspensão de mola; consulte 3.3: "Primeiro ponto de fixação"



NOTA: Os suportes montados no chassis BAM 3 (ilustrados a preto na tabela) podem ser encomendados de fábrica através de um pedido POV. Para saber os números de peça de consolas/suportes disponíveis através do Serviço de Pós-Venda da DAF, consulte o capítulo 13.1: "Fixações".

Fixação de acordo com BAM 3a

Dimensões mínimas necessárias da carroçaria/subestrutura para chassis com longarinas laterais de 192 mm e 260 mm de altura com pranchas de reforço interior contínuas				
Distância entre eixos [m]	Ressalto traseiro do chassis (AE) [m]	Dimensões da longarina lateral (A)	Dimensões do perfil da subestrutura; st52 [mm]	
			FA (4x2)	FAR/S (6x2)
WB > 5,40 - ≤ 6,00 ⁽²⁾	AE ≤ 0,6 x WB	192x66,5x4,5 + 180x47/62x4	U 80x50x6	Não aplicável
WB ≤ 5,00	AE ≤ 0,6 x WB	260x75x7 + 245x65x5	-	U 100x65x6
WB ≤ 5,40 ⁽¹⁾	AE ≤ 0,6 x WB	260x75x6 + 246x60x5	U 80x50x6	Não aplicável
WB ≤ 5,90	AE ≤ 0,6 x WB	260x75x7 + 245x65x5	U 80x50x6	U 120x60x6
WB ≤ 7,30 ⁽¹⁾	AE ≤ 0,6 x WB	260x75x6 + 246x60x5	U 140x60x6	Não aplicável

(1) Chassis dos veículos FA LF45/55 e CF65. Chassis com 260 mm de altura na longitudinal com perfil de reforço interior contínuo até ao primeiro suporte de molas do eixo traseiro.

(2) FA LF45

Distância entre as rodas traseiras

Nas versões com controlo da altura dependente da velocidade e compensação da compressão dos pneus, a distância mínima necessária acima dos pneus do eixo motriz foi reduzida para 10 mm com as molas a comprimir a suspensão (metal contra metal). Consulte também a secção 2.14: "Distância entre rodas".

Dimensões da subestrutura

Utilize sempre uma subestrutura quando instalar uma superestrutura de guincho numa estrutura do chassis. Para as dimensões da subestrutura necessária, consulte um dos gráficos apresentados a seguir. As informações que se seguem irão ajudá-lo a escolher o gráfico aplicável:

Os 2 gráficos (A e B) podem ser utilizados para determinar as dimensões da subestrutura, do modo indicado a seguir. Gráfico A: a partir de uma capacidade do guincho de, por exemplo, 140 kNm, desenhe uma linha imaginária para a direita até cruzar a linha vertical da barra lateral, por exemplo 260x75x6 (LF55). A leitura para as dimensões da subestrutura é secção da caixa com 160x80x8. As dimensões das travessas do chassis (possivelmente com pranchas) nas zonas críticas indicadas (*; veja a figura) do chassis podem então ser lidas nos esquemas dos construtores de carroçarias.

Estes diagramas estão disponíveis na Internet (www.dafBBI.com).

Gráfico A: guincho imediatamente atrás da cabina

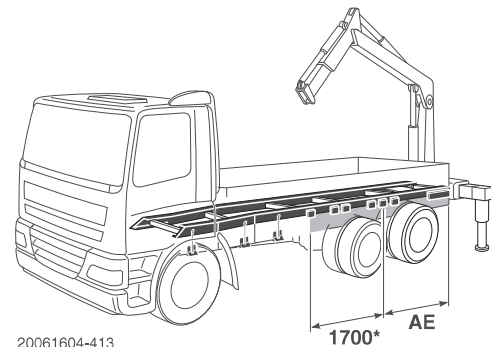
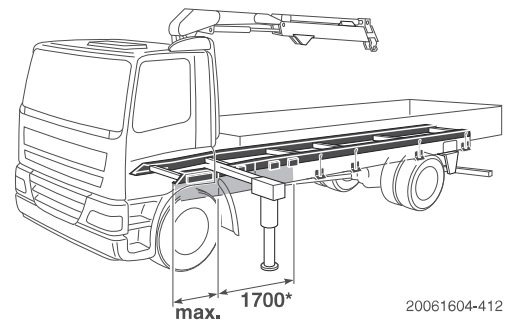
Material da subestrutura Fe 510 D, de acordo com EN 10025 (St 52-3 de acordo com DIN 17100).

Gráfico B: Guincho na extremidade traseira do chassis

Material da subestrutura Fe 510 D, de acordo com EN 10025 (St 52-3 de acordo com DIN 17100).

Estabilidade de torção

Se um guincho de carregamento do veículo for instalado na extremidade traseira do veículo, deve fornecer-se um reforço contra torção no ressalto traseiro. **O reforço contra torção pode ser fornecido pela própria superestrutura ou por um reforço da subestrutura;** consulte também 'Estabilidade de torção da subestrutura', na secção 3.1: "Superestrutura com subestrutura". A estabilidade é determinada pelo veículo, a carga, a posição das pernas de suporte e a estrutura da superfície debaixo das pernas de suporte. **Veículos com suspensão dianteira de molas / traseira pneumática ou suspensão totalmente pneumática.** Durante a operação do guincho; esvaziar a suspensão do veículo e depois elevar o chassis utilizando as pernas de suporte do guincho pode danificar os foles. Por conseguinte, a suspensão pneumática ECAS



Zonas críticas para instalação de guinchos

Superestruturas

deve estar equipada com a função para esvaziar a suspensão pneumática até uma pressão residual baixa, de modo a proteger os foles. Para a instalação desta função, contacte o departamento de Engenharia de vendas da DAF.

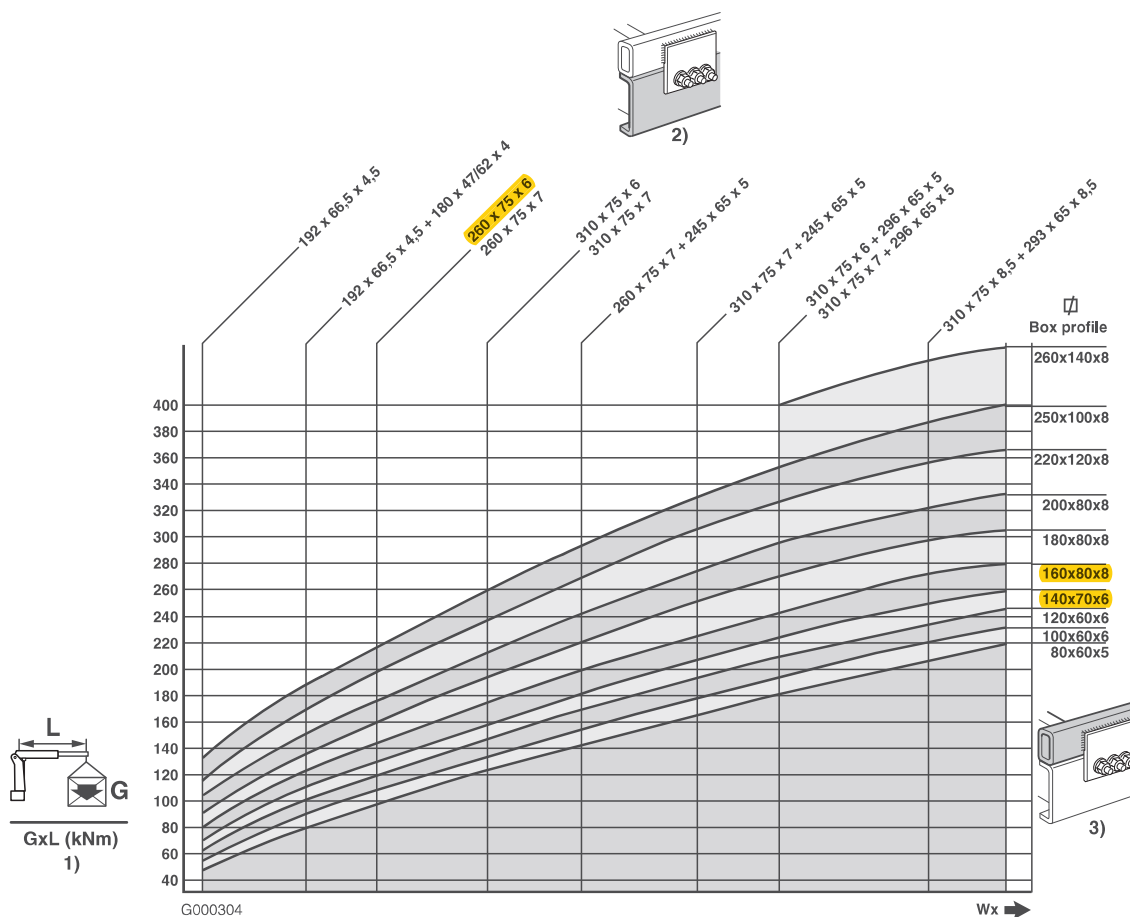
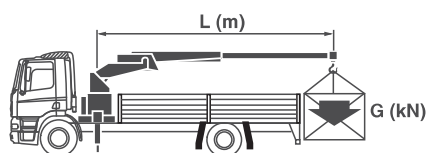
A estabilidade do veículo durante o funcionamento de qualquer sistema de superestrutura é da responsabilidade do construtor da carroçaria e do utilizador. O utilizador deve estar sempre certo de que a estabilidade do veículo está garantida. Como tal, é importante que sejam fornecidas instruções claras para a utilização da superestrutura com o veículo ou que estejam presentes no mesmo.

4

Gráfico A

Dimensões mínimas da subestrutura para:

- **guincho imediatamente atrás da cabina,**
- **material da subestrutura Fe 510 D.**



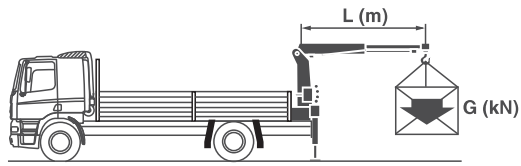
1. Guinchos de carregamento do veículo, consulte a secção 4.3.
2. Dimensões do chassis, consulte a secção 2.10: "Dimensões relacionadas com o chassis e a cabina".
3. Superestrutura com subestrutura, consulte a secção 3.1: "Superestrutura com subestrutura".

Gráfico B

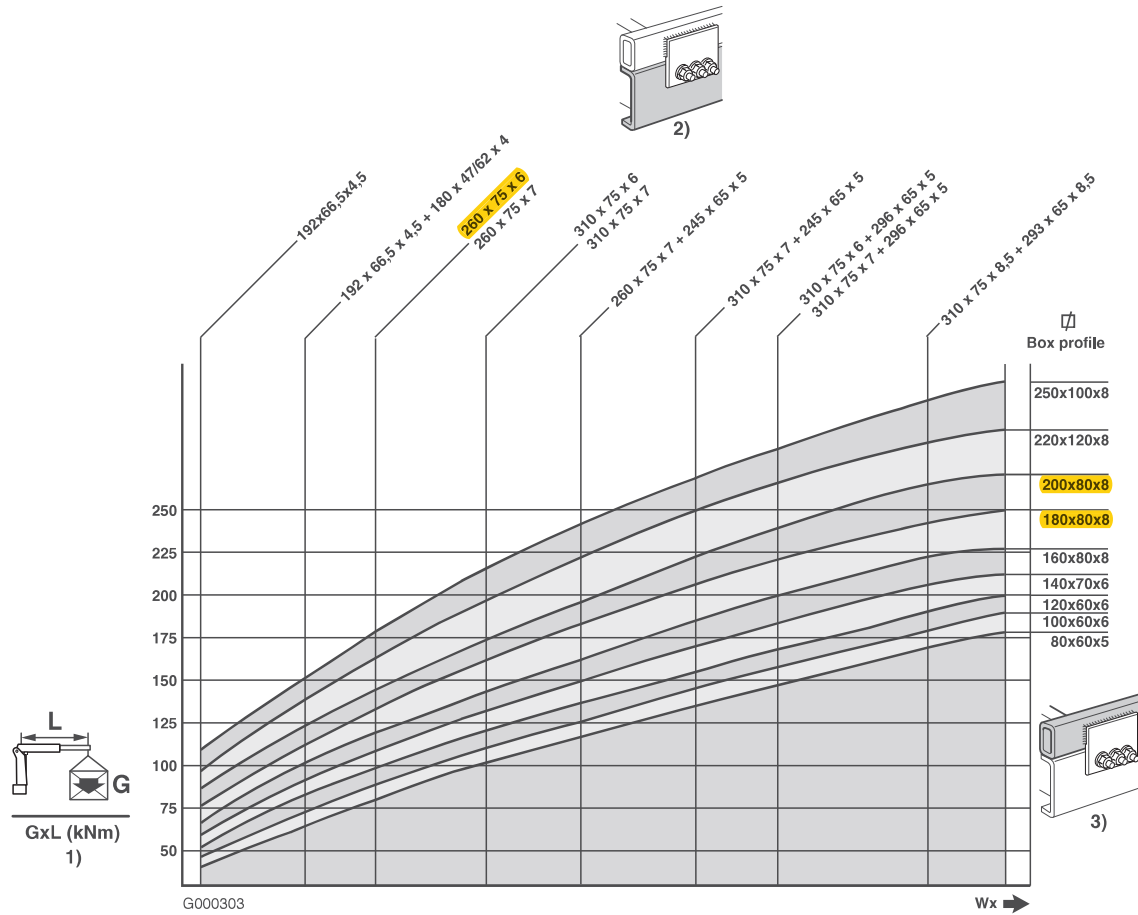
Dimensões mínimas da subestrutura para:

- guincho na extremidade traseira do chassis,
- material da subestrutura Fe 510 D.

Superestruturas



4



1. Guinchos de carregamento do veículo, consulte a secção 4.3.
2. Dimensões do chassis, consulte a secção 2.10: "Dimensões relacionadas com o chassis e a cabina".
3. Superestrutura com subestrutura, consulte a secção 3.1: "Superestrutura com subestrutura".

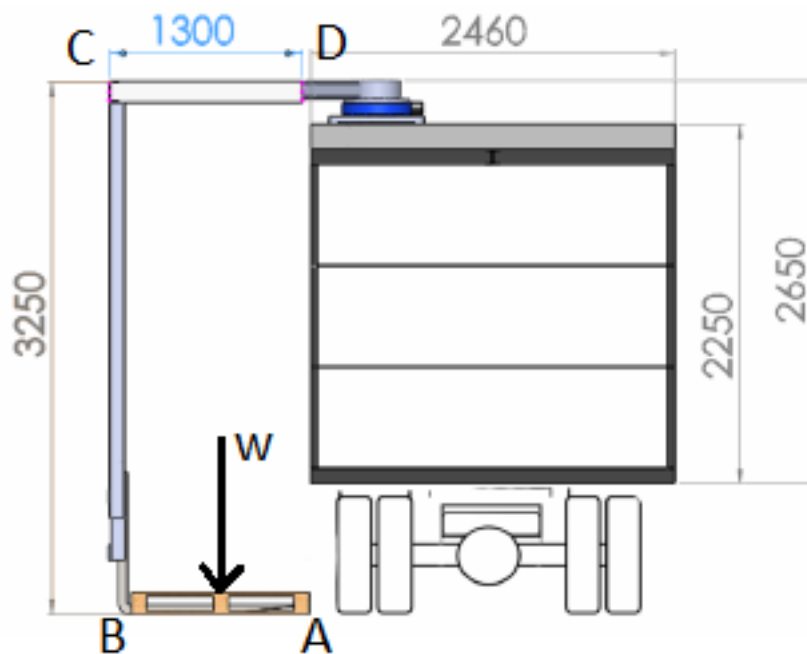
Anexo B

Dimensionamento do Transelevador - *Maplesoft*

[> restart;

#Dimensionamento conforme a figura;

[>



[>

> LAB := 1.12;
> LBC := 3.250;
> LCD := 1.300;
> Carga := 200;
> #MAB := LAB · (Carga · 9.8);
> w := 2000;

LAB := 1.12

LBC := 3.250

LCD := 1.300

Carga := 200

w := 2000

(1)

> #Propriedades do Material S355J2G3;

> E := 210e9; #GPa
> σ_{adm} := 315e6; #MPa

E := 2.10 10¹¹

σ_{adm} := 3.15 10⁸

(2)

> #admitindo uma flexa máxima (L\400) - EUROCODIGO NP EN 1993

flexmax := $\frac{LCD}{400}$;

(3)

Vigas Superiores - Equações de Equilíbrio; Momento Fletor; Projeto à resistência mecânica e rigidez.

Equações de Equilíbrio

```

> SFx := Dx = 0;
  SFy := Dy - w = 0;
  SMD := MD - (w · LCD) + (w · LAB / 2) = 0;
  solve( {SMD, SFx, SFy}, {Dx, Dy, MD} );
  assign(%):

          SFx := Dx = 0
          SFy := Dy - 2000 = 0
          SMD := MD - 1480.000000 = 0
          {Dx = 0., Dy = 2000., MD = 1480.}

```

(1.1)

Momento fletor

```

> Mx := -Dy · x + (w · LAB / 2);
          Mx := -2000. x + 1120.000000

```

(1.2)

Equação diferencial da curva elástica (integrar 2vezes)

```

> EIRa := ∫ Mx dx + C1;
  EIYa := ∫ EIRa dx + C2;

          EIRa := -1000. x2 + 1120. x + C1
          EIYa := -333.3333333 x3 + C1 x + 560. x2 + C2

```

(1.3)

Condições de Fronteira

```

> CF1 := subs(x = LCD, EIYa) = 0;
  CF2 := subs(x = LCD, EIRa) = 0;
  solve( [CF1, CF2], [C1, C2] );
  assign(%);

          CF1 := 214.0666667 + 1.300 C1 + C2 = 0
          CF2 := -234.000000 + C1 = 0
          [[C1 = 234., C2 = -518.2666667]]

```

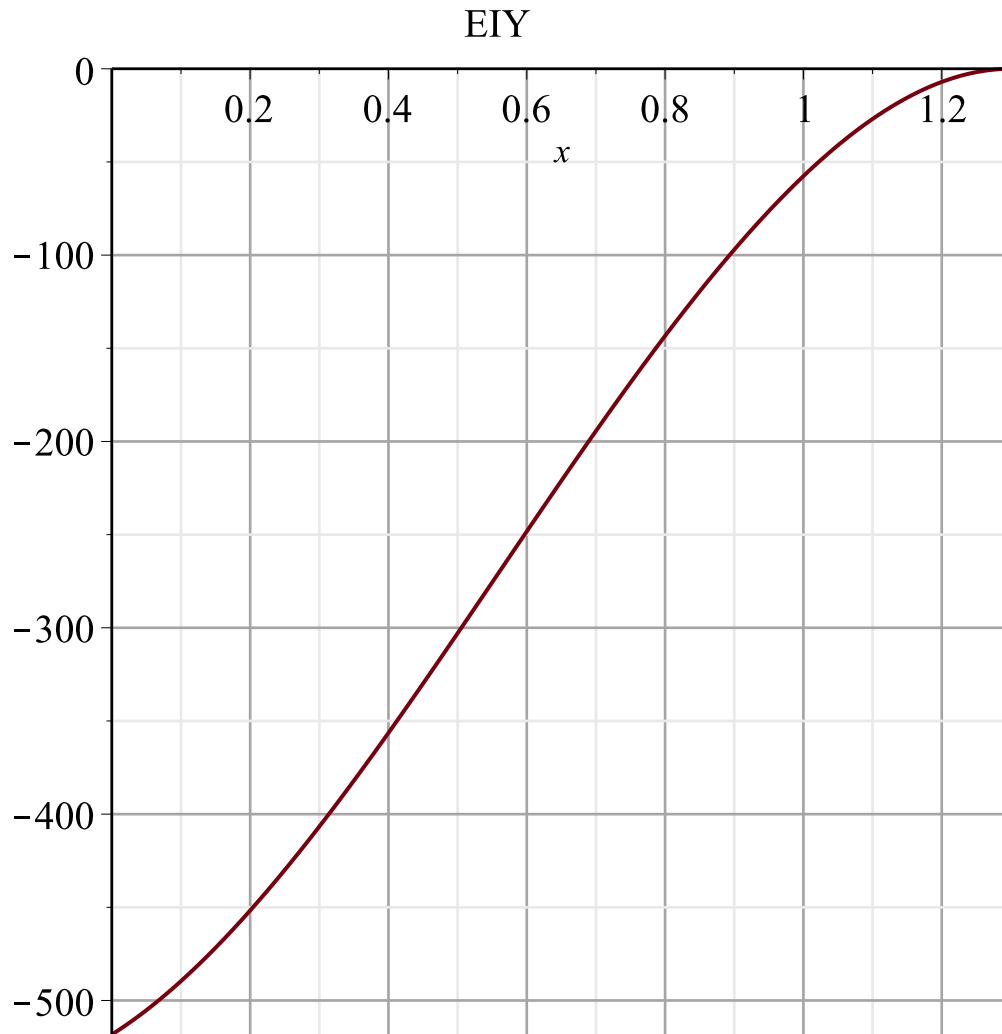
(1.4)

> $EIRa, EIYa$

$$-1000. x^2 + 1120. x + 234. \\ -333.3333333 x^3 + 234. x + 560. x^2 - 518.2666667$$

(1.5)

> $EIYa := \text{piecewise}(x \geq 0 \text{ and } x < LCD, EIYa) :$
 $\text{plot}(EIYa, x=0..LCD, \text{title}="EIY", \text{gridlines})$



>

Projeto à resistência mecânica

> $Vmax := Dy;$
 $Mmax := MD;$

$$\begin{aligned} V_{max} &:= 2000. \\ M_{max} &:= 1480. \end{aligned} \quad (1.6)$$

$$\begin{aligned} > \sigma_{max} &:= \frac{\text{abs}(M_{max})}{W_{min}}; \\ eq &:= \sigma_{adm} - \sigma_{max}; \\ W_{min} &:= \text{solve}(eq, W_{min}); 235 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \sigma_{max} &:= \frac{1480.}{W_{min}} \\ eq &:= 3.15 \cdot 10^8 - \frac{1480.}{W_{min}} \\ W_{min} &:= 0.000004698412698 \\ &235 \end{aligned} \quad (1.7)$$

$$> W := W_{min} \cdot 10^6; \# \frac{I_x}{V_x} \text{ em cm}^3$$

$$W := 4.698412698 \quad (1.8)$$

>
 > # http://sections.arcelormittal.com/fileadmin/redaction/4-Library/1-Sales_programme_Brochures/Sales_programme/ArceorMittal_FR_EN_DE.pdf
 ;
 #Seleção de vigas UPE, PFC ou UPN;

>

	
UPE	UPN
pages/Seiten 116-117	pages/Seiten 120-121
Profils en U à ailes parallèles	Profils en U à ailes inclinées
Parallel flange channels	Taper flange channels
Profile mit parallelen Flanschflächen	Profile mit geneigten inneren Flanschflächen

> EIYa0 := subs(x = 0, EIYa)

$$EIYa0 := \begin{cases} -518.2666667 & 0 \leq 0 \text{ and } 0 < 1.300 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1.9)$$

> solve($\left\{ flexmax = \frac{EIYa0}{E \cdot Ixmin} \right\}$, [Ixmin]);
assign(%);

$$[[Ixmin = -7.593650794 \cdot 10^{-7}]] \quad (1.10)$$

> Ix := Ixmin · 10⁸;

$$Ix := -75.93650794 \quad (1.11)$$

Escolha de uma viga UPE - UPE80

▼ Vigas Superiores - Escolha do perfil UPE;

>

Notations pages 219-223 / Bezeichnungen Seiten 193-196

Désignation Designation Bezeichnung	Valeurs statiques / Section properties / Statische Kennwerte														Classification EN 1993-1-1: 2005						EN 10025-2: 2004	EN 10025-4: 2004	EN 10225:2009		
	axe fort y-y strong axis y-y starke Achse y-y						axe faible z-z weak axis z-z schwache Achse z-z						Pure bending y-y			Pure compression									
	G	I _y	W _{el,y}	W _{pl,y}	i _y	A _z	I _z	W _{el,z}	W _{pl,z}	i _z	S _s	I _t	I _w	y _s	y _m	S235	S355	S460	S235	S355				S460	
kg/m	mm ⁴ x10 ⁴	mm ³ x10 ³	mm ³ x10 ³	mm x10	mm ² x10 ²	mm ⁴ x10 ⁴	mm ³ x10 ³	mm ³ x10 ³	mm x10	mm	mm ⁴ x10 ⁴	mm ⁶ x10 ⁶	mm x10	mm	1	1	1	1	1	1	1				
UPE 80	7,9	107	26,8	31,2	3,26	4,05	25,5	8,0	13,9	1,59	16,9	1,47	0,22	1,82	3,71	1	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
UPE 100	9,8	207	41,4	48,0	4,07	5,34	38,3	10,6	18,9	1,75	17,9	2,01	0,53	1,91	3,93	1	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
UPE 120	12,1	364	60,6	70,3	4,86	7,18	55,5	13,8	24,8	1,90	20,0	2,90	1,12	1,98	4,12	1	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
UPE 140	14,5	600	85,6	98,8	5,71	8,25	78,8	18,2	32,6	2,07	21,0	4,05	2,20	2,17	4,54	1	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
UPE 160	17,0	911	114	132	6,48	10,0	107	22,6	40,7	2,22	22,0	5,20	3,96	2,27	4,76	1	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
UPE 180	19,7	1350	150	173	7,34	11,2	144	28,6	51,5	2,39	23,0	6,99	6,81	2,47	5,19	1	1	1	1	1	2	1	✓	✓	✓

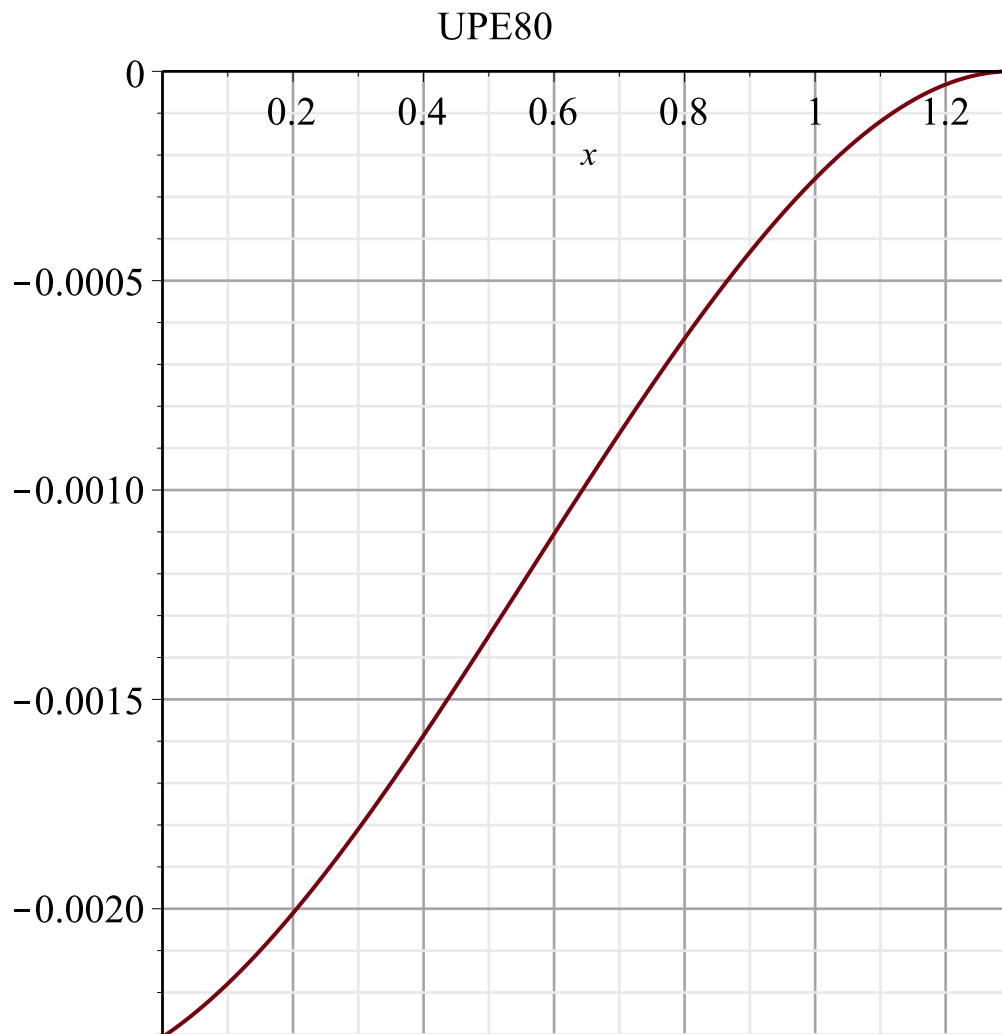
> $I_x := 107 \cdot 10^{-8}$; $W := 26.8 \cdot 10^{-6}$; # UPE 80

$$Y := \frac{EIYa}{E \cdot Ix} :$$

$Yx := \text{piecewise}(x \geq 0 \text{ and } x < LCD, Y) :$
 $\text{plot}(Yx, x = 0 ..LCD, \text{title} = "UPE80", \text{gridlines})$

$$I_x := \frac{107}{100000000}$$

$$W := 0.00002680000000$$



```
> ymax := maximize(Yx, x=0);
   evalb(flexmax > abs(ymax)); sigma_max :=  $\frac{\text{abs}(M_{max})}{W}$ ;
```

ymax := -0.002306482718

true

sigma_max := 5.522388060 10⁷

(2.1)

A viga UPE80 é adequada para o tipo de solicitações.

▼ **Viga tipo Carril - Braço BC - Perfil**

```
> w := 2000 ;
FMax := ( w * ( ( LAB ) / 2 ) ) / ( 2 * 1000 ) * 10^3;
w := 2000
FMax := 560.0000000
```

(3.1)

```
> x
x
```

(3.2)

```
> Mb := FMax * ( x ) - FMax * ( x - 1 );
Mb := 560.0000000
```

(3.3)

Equação diferencial da curva elástica (integrar 2vezes)

```
> EIRa2 := ∫ Mb dx + C3;
EIYa2 := ∫ EIRa2 dx + C4;
EIRa2 := 560. x + C3
EIYa2 := C3 x + 280. x^2 + C4
```

(3.4)

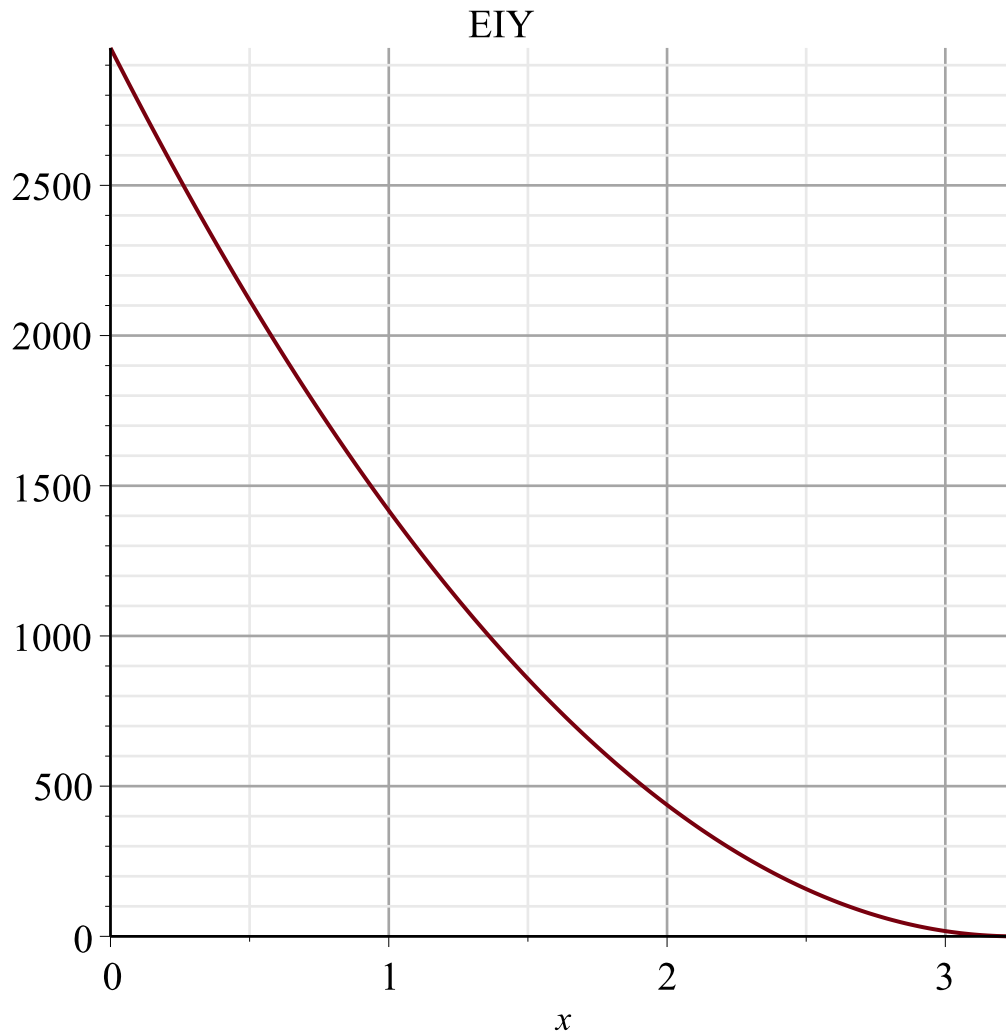
```
> CF3 := subs(x=LBC, EIYa2) = 0;
CF4 := subs(x=LBC, EIRa2) = 0;
solve( [CF3, CF4], [C3, C4]);
assign(%);
CF3 := 3.250 C3 + 2957.500000 + C4 = 0
CF4 := 1820.000 + C3 = 0
[[ C3 = -1820., C4 = 2957.500000 ]]
```

(3.5)

```
> EIRa2; EIYa2
560. x - 1820.
-1820. x + 280. x^2 + 2957.500000
```

(3.6)

```
> EIYa3 := piecewise(x ≥ 0 and x < LBC, EIYa2) :
plot(EIYa3, x = 0 .. LBC, title = "EIY", gridlines)
```



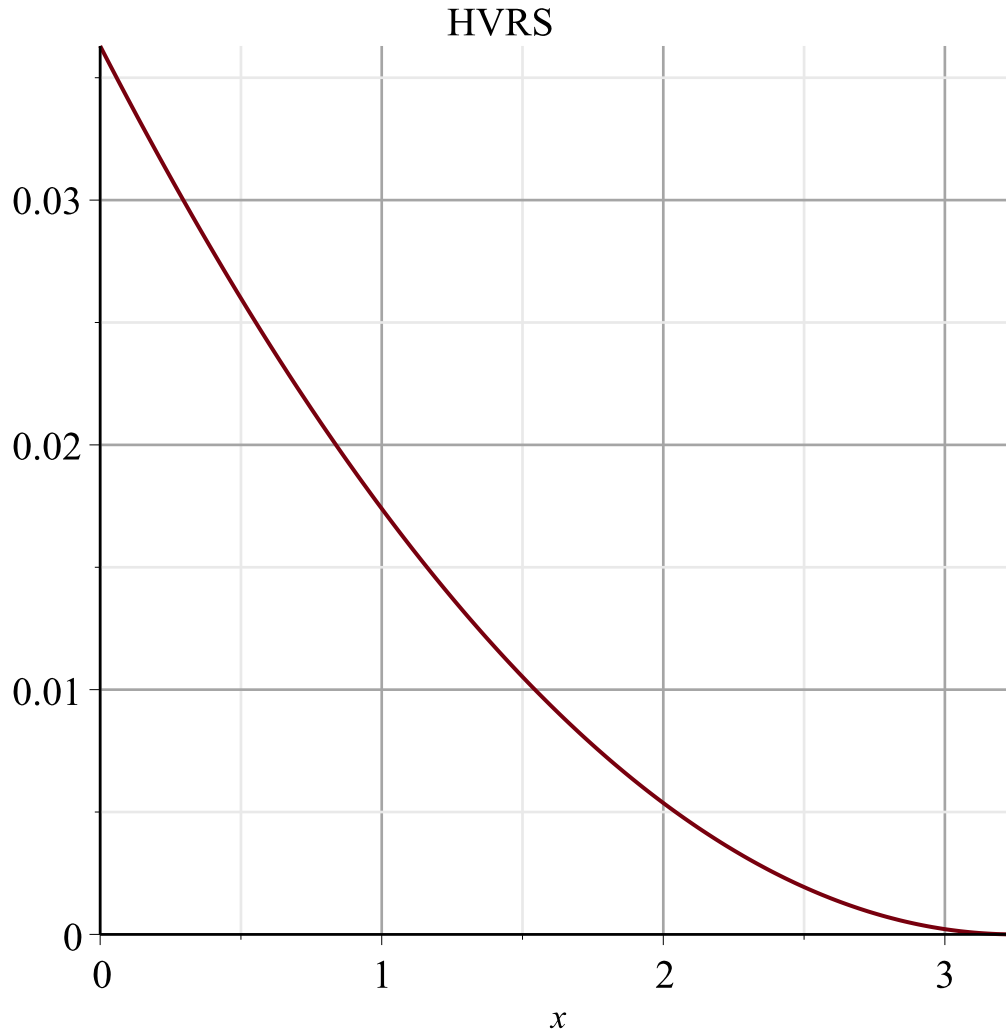
```
> EIYa02 := subs(x = 0, EIYa2)
EIYa02 := 2957.500000 (3.7)
```

```
> flexmax2 :=  $\frac{LBC}{400}$ ;
solve( $\left\{ \text{flexmax2} = \frac{\text{EIYa02}}{E \cdot \text{Ixmin2}} \right\}$ , [Ixmin2]);
assign(%) : Ix2 := Ixmin2 · 108;
flexmax2 := 0.008125000000
[[Ixmin2 = 0.000001733333333]]
Ix2 := 173.3333333 (3.8)
```

▼ Perfil HVR-S

```
> Ix := 38.8 · 10-8 : # HVRS
Y :=  $\frac{\text{EIYa2}}{E \cdot \text{Ix}}$  :
```

```
Yx2 := piecewise(x ≥ 0 and x < LBC, Y) :
plot(Yx2, x=0 ..LBC, title="HVRS", gridlines)
```



```
> ymax2 := maximize(Yx2, x=0);
evalb(flexmax2 > abs(ymax2));
      ymax2 := 0.03629725086
      false
```

(3.1.1)

O perfil HVR-S não é adequado para o tipo de solicitações.

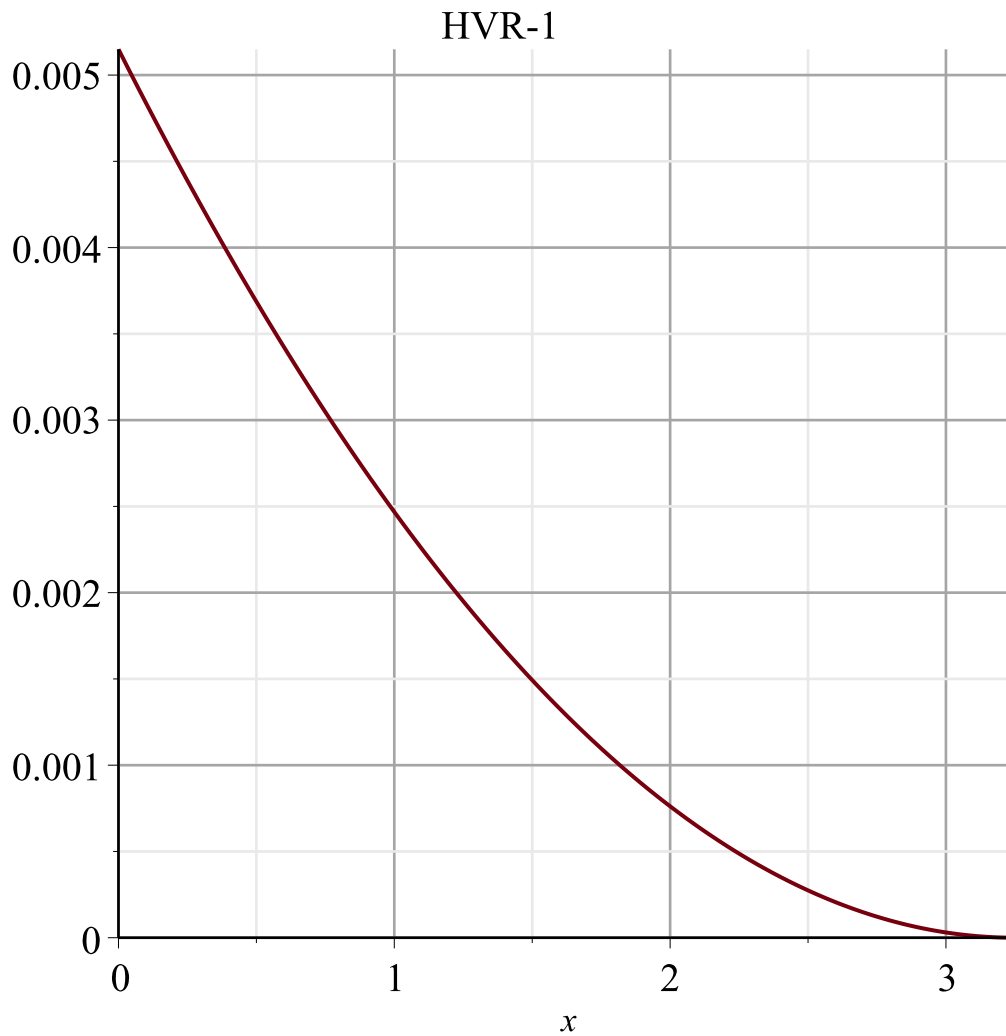
▼ Escolha do perfil da viga em Carril

```
> Ix := 273.5 · 10-8 : W := 53 · 10-6 : Mmax2 := 560 : # HVR-1
Y :=  $\frac{EIYa2}{E \cdot Ix}$  :
```

```

Yx2 := piecewise(x ≥ 0 and x < LBC, Y) :
plot(Yx2, x=0..LBC, title="HVR-1", gridlines)

```



```

> ymax2 := maximize(Yx2, x=0); sigma_max2 := abs(Mmax2) / W;
evalb(flexmax2 > abs(ymax2));
      ymax2 := 0.005149299208
      sigma_max2 := 560000000 / 53
                    true

```

(4.1)

O perfil HVR-1 é adequado para o tipo de solicitações.

Anexo C

Catálogos

C.1 Catálogo ArcelorMittal - Perfis de Vigas

Profil en U à ailes parallèles

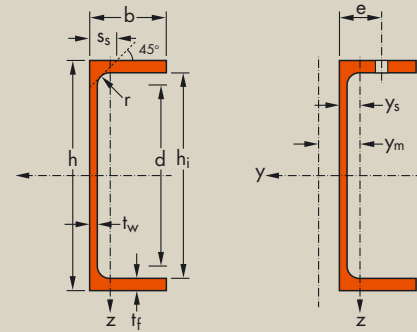
Dimensions: EN 10365: 2017
 Tolérances: EN 10279: 2000
 État de surface: conforme à EN 10163-3: 2004, classe C, sous-classe 1

Parallel flange channels

Dimensions: EN 10365: 2017
 Tolerances: EN 10279: 2000
 Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1

Profile mit parallelen Flansflächen

Abmessungen: EN 10365: 2017
 Toleranzen: EN 10279: 2000
 Oberflächenbeschaffenheit: Gemäß EN 10163-3: 2004, Klasse C, Untergruppe 1



Désignation Designation Bezeichnung	Dimensions Abmessungen						A mm ² x10 ²	Dimensions de construction Dimensions for detailing Konstruktionsmaße					Surface Oberfläche	
	h mm	b mm	t _w mm	t _f mm	r mm	h _i mm		d mm	Ø	e _{min} mm	e _{max} mm	A _L m ² /m	A _G m ² /t	
G kg/m														
UPE 80*	7,9	80	50	4,0	7,0	10	10,1	66	46	-	-	-	0,343	43,45
UPE 100*	9,8	100	55	4,5	7,5	10	12,5	85	65	M 12	35	36	0,402	41,00
UPE 120*	12,1	120	60	5,0	8,0	12	15,4	104	80	M 12	35	41	0,460	37,98
UPE 140*	14,5	140	65	5,0	9,0	12	18,4	122	98	M 16	35	38	0,520	35,95
UPE 160*	17,0	160	70	5,5	9,5	12	21,7	141	117	M 16	36	43	0,579	34,01
UPE 180*	19,7	180	75	5,5	10,5	12	25,1	159	135	M 16	36	48	0,639	32,40
UPE 200*	22,8	200	80	6,0	11,0	13	29,0	178	152	M 20	46	47	0,697	30,60
UPE 220*	26,6	220	85	6,5	12,0	13	33,9	196	170	M 22	47	49	0,756	28,43
UPE 240*	30,2	240	90	7,0	12,5	15	38,5	215	185	M 24	47	51	0,813	26,89
UPE 270*	35,2	270	95	7,5	13,5	15	44,8	243	213	M 27	48	50	0,892	25,34
UPE 300*	44,4	300	100	9,5	15,0	15	56,6	270	240	M 27	50	55	0,968	21,78
UPE 330*	53,2	330	105	11,0	16,0	18	67,8	298	262	M 27	54	60	1,043	19,60
UPE 360*	61,2	360	110	12,0	17,0	18	77,9	326	290	M 27	55	65	1,121	18,32
UPE 400*	72,2	400	115	13,5	18,0	18	91,9	364	328	M 27	57	70	1,218	16,87

* Tonnage minimum et conditions de livraison nécessitent un accord préalable.
 * Minimum tonnage and delivery conditions upon agreement.
 * Mindestbestellmenge und Lieferbedingungen nach Vereinbarung.

Notations pages 219-223 / Bezeichnungen Seiten 193-196

Désignation Designation Bezeichnung	Valeurs statiques / Section properties / Statische Kennwerte															Classification EN 1993-1-1: 2005								
	axe fort y-y strong axis y-y starke Achse y-y						axe faible z-z weak axis z-z schwache Achse z-z					Pure bending y-y				Pure compression		EN 10025-2: 2004	EN 10025-4: 2004	EN 10225:2009				
	G kg/m	I_y mm ⁴ x10 ⁴	W_{ely} mm ³ x10 ³	W_{ply} ■ mm ³ x10 ³	i_y mm x10	A_z mm ² x10 ²	I_z mm ⁴ x10 ⁴	W_{elz} mm ³ x10 ³	W_{plz} ■ mm ³ x10 ³	i_z mm x10	s_s mm	I_t mm ⁴ x10 ⁴	I_w mm ⁶ x10 ⁹	y_s mm x10	y_m mm x10	S235	S355				S460	S235	S355	S460
UPE 80	7,9	107	26,8	31,2	3,26	4,05	25,5	8,0	13,9	1,59	16,9	1,47	0,22	1,82	3,71	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
UPE 100	9,8	207	41,4	48,0	4,07	5,34	38,3	10,6	18,9	1,75	17,9	2,01	0,53	1,91	3,93	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
UPE 120	12,1	364	60,6	70,3	4,86	7,18	55,5	13,8	24,8	1,90	20,0	2,90	1,12	1,98	4,12	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
UPE 140	14,5	600	85,6	98,8	5,71	8,25	78,8	18,2	32,6	2,07	21,0	4,05	2,20	2,17	4,54	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
UPE 160	17,0	911	114	132	6,48	10,0	107	22,6	40,7	2,22	22,0	5,20	3,96	2,27	4,76	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
UPE 180	19,7	1350	150	173	7,34	11,2	144	28,6	51,5	2,39	23,0	6,99	6,81	2,47	5,19	1	1	1	1	1	2	✓	✓	✓
UPE 200	22,8	1910	191	220	8,11	13,5	187	34,5	62,2	2,54	24,6	8,89	11,0	2,56	5,41	1	1	1	1	1	2	✓	✓	✓
UPE 220	26,6	2680	244	281	8,90	15,8	247	42,5	76,9	2,70	26,1	12,1	17,6	2,70	5,70	1	1	1	1	1	2	✓	✓	✓
UPE 240	30,2	3600	300	347	9,67	18,8	311	50,1	90,8	2,84	28,3	15,1	26,4	2,79	5,91	1	1	1	1	1	2	✓	✓	✓
UPE 270	35,2	5250	389	451	10,8	22,2	401	60,7	110	2,99	29,8	19,9	43,6	2,89	6,14	1	1	-	1	2	-	✓	✓	✓
UPE 300	44,4	7820	522	613	11,8	30,3	538	75,6	140	3,08	33,3	31,5	72,7	2,89	6,03	1	1	-	1	1	-	✓	✓	✓
UPE 330	53,2	11010	667	792	12,7	38,8	681	89,7	162	3,17	37,5	45,2	112	2,90	6,00	1	1	-	1	1	-	✓	✓	✓
UPE 360	61,2	14830	824	982	13,8	45,6	844	105	189	3,29	39,5	58,5	166	2,97	6,12	1	1	-	1	1	-	✓	✓	✓
UPE 400	72,2	20980	1050	1260	15,1	56,2	1045	123	221	3,37	42,0	79,1	259	2,98	6,06	1	1	-	1	1	-	✓	✓	✓

- W_{ply} est calculé selon l'hypothèse d'un diagramme de contraintes bi-rectangulaire et n'est applicable que si deux ou plusieurs fers U sont associés de façon à constituer une section doublement symétrique pour laquelle un moment de flexion agissant dans le plan du centre de gravité n'engendre pas de torsion.
- W_{ply} is determined assuming a bi-rectangular stress block distribution. Thus, the given value applies only if two or more channels are combined in such a way to form a double symmetric cross-section so that the bending moment acting in the plane of the centre of gravity will not lead to torsion.
- Für die Berechnung von W_{ply} wurde eine doppelrechteckige Spannungsverteilung angenommen. Der angegebene Wert ist daher nur anwendbar, wenn zwei oder mehr U-Profile so miteinander kombiniert sind, dass sie einen doppelsymmetrischen Querschnitt bilden, womit ein Biegemoment, das in der Schwerpunktebene angreift, keine Torsion hervorruft.

C.2 Catálogo CRT - Hevi-Rail



Hevi-Rail®

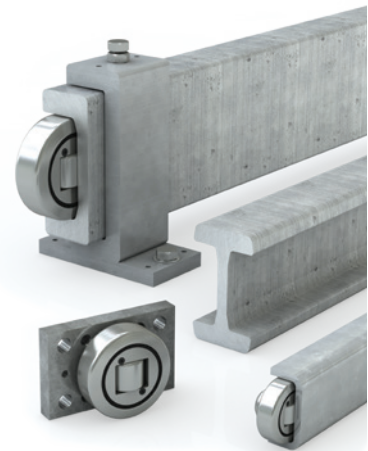
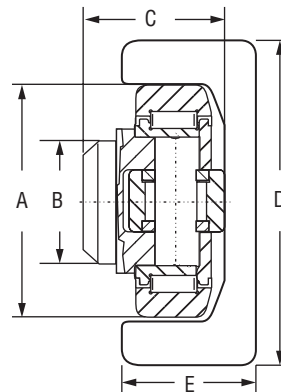
COMBINED HEVI-RAIL BEARING		RAIL		FLANGE PLATE	CLAMP FLANGE	BEARING WITH WELDED FLANGE PLATE*		SYSTEM MAX STATIC LOAD**		GENERAL DIMENSIONS***				
FIXED	ADJUSTABLE	U-CHANNEL	I-CHANNEL			FIXED	ADJUSTABLE	RADIAL	AXIAL	A	B	C	D	E
HVB-053	–	HVR-S	–	HVPS-1	–	HVB-053/HVPS	–	5.23	1.68	52.5	30	33	65	30
HVB-054	HVBEA-454	HVR-0	–	HVPO-1	HVC-0	HVB-054/HVPO	HVBEA-454/HVPO	10.3	3.2	62	30	37.5	86.5	36
HVB-055	HVBEA-455	HVR-1	HVRI-07	HVP1-1	HVC-1	HVB-055/HVP1	HVBEA-455/HVP1	12.4	3.87	70.1	35	44	103.2	40
HVB-056	HVBEA-456	HVR-2	–	HVP2-1	HVC-2	HVB-056/HVP2	HVBEA-456/HVP2	12.9	4.0	77.7	40	48	121.3	41
HVB-057	HVBEA-457	–	HVRI-08	HVP2-1	–	HVB-057/HVP2	HVBEA-457/HVP2	12.9	4.0	77.7	40	40.7	113.9	66
HVB-058	HVBEA-458	HVR-3	HVRI-09	HVP3-1	HVC-3	HVB-058/HVP3	HVBEA-458/HVP3	22.4	7	88.4	45	57	135.4	53
HVB-059	HVBEA-459	–	HVRI-10	–	–	–	–	22	7	101.2	50	46	140.3	69.9
HVB-060	HVBEA-460	–	HVRI-11	–	–	–	–	23.8	7.44	107.7	55	53	152.4	83
HVB-061	HVBEA-461	HVR-4	–	HVP4-1	HVC-4	HVB-061/HVP4	HVBEA-461/HVP4	23.8	7.44	107.7	60	69	157.2	61.2
HVB-062	HVBEA-462	HVR-5	–	HVP4-1	–	HVB-062/HVP4	HVBEA-462/HVP4	33.9	10.6	123	60	72.3	175	66.2
HVB-063	HVBEA-463	HVR-6	–	HVP6-1	–	HVB-063/HVP6	HVBEA-463/HVP6	59.2	18.5	149	60	78.5	201.5	71.2

*For flange plate oriented 90 degrees to either fixed or adjustable, add -90 to the end of the part number (ex. HVB-053/HVPS-90).

System MAX static loads are achievable when used with shown rails. *Detailed dimensions can be found on each product page.

FEATURES & BENEFITS

The economical Hevi-Rail® guide systems offer a lifetime of durability under continuous use. The easily interchangeable bearing components provide even dispersion of forces in the rails for longer system life and stability.



LINEAR BEARINGS

- Outer ring made of case-hardened steel
- Handles very high axial and radial loads
- Easily interchangeable components for less down-time
- Fixed and adjustable combined bearings available

RAILS

- Standard length up to 6 meters
- Sand blasted or lightly oiled options available
- U-channel or I-channel available

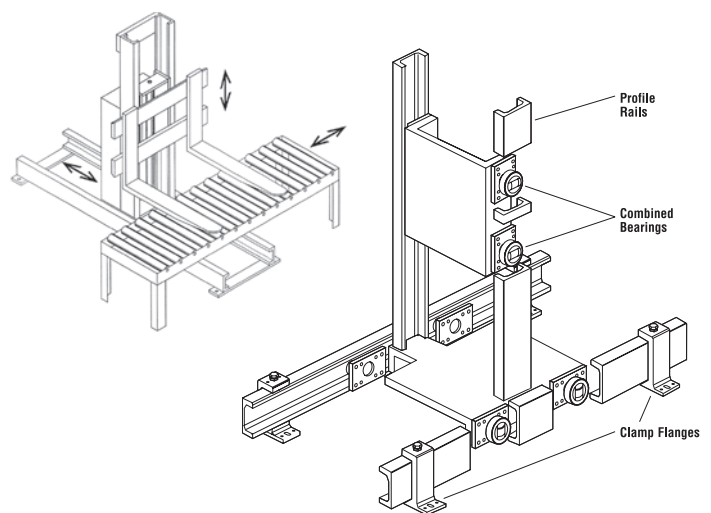
CLAMP FLANGES

- Eliminates need for welding and straightening
- Easily adjustable parallelism

FLANGE PLATES

- Simple mounting for bearings
- Can be ordered pre-welded to bearing
Ordering example: HVB-054/HVPO-1

Sample Hevi-Rail Configurations



REDI-RAIL

COMMERCIAL RAIL

HARDENED CROWN ROLLER

V-GUIDE

HEVI-RAIL



0.58 US Ton-Force

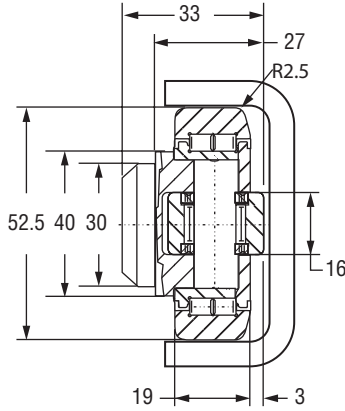
Hevi-Rail® HVB-053



AXIAL BEARING – FIXED HVB-053

Weight = 0.36 Kg
Maximum Bearing Loads:
Radial: Dynamic = 24.50 kN; Static = 32.50 kN
Axial: Dynamic = 7.50 kN; Static = 7.50 kN

Note: Above loads achievable when used with a hardened rail HRC 55 minimum 2.54 mm deep.

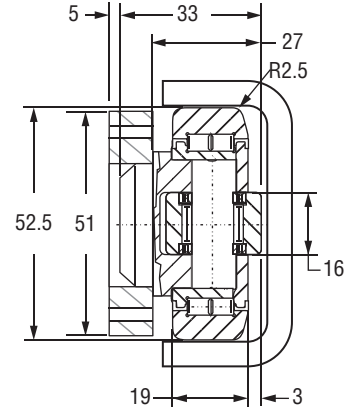


System Maximum Static Loads:
Radial: 5.23 kN / 0.58 US Ton-Force
Axial: 1.68 kN / 0.18 US Ton-Force

Note: Above loads are achievable when used with shown rails.

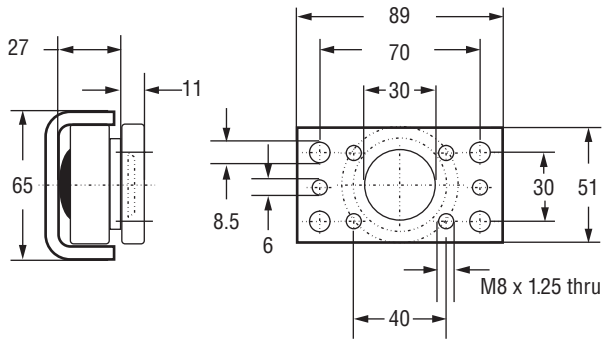


AXIAL BEARING – FIXED HVB-053/HVPS WITH WELDED FLANGE PLATE



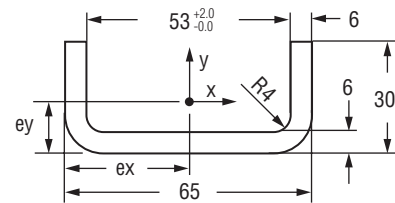
FLANGE PLATE HVPS-1

For ordering separate flange plate only



RAIL – U CHANNEL HVR-S

Weight = 5.3 Kg/m
Moment of Inertia: $I_x = 5.2 \text{ cm}^4$; $I_y = 38.8 \text{ cm}^4$
Moment of Resistance: $W_x = 2.50 \text{ cm}^3$; $W_y = 11.90 \text{ cm}^3$
Radius of Inertia: $i_x = 0.80 \text{ cm}$; $i_y = 2.40 \text{ cm}$
Distance to Center of Gravity: $e_y = 0.94 \text{ cm}$; $e_x = 32.50 \text{ cm}$



[Email an Application Engineer](#)

[Link to video "Hevi-Rail Top 5 Design Tips"](#)

ORDERING INFORMATION

PART NO.	DESCRIPTION
HVB-053	Fixed axial bearing
HVB-053/HVPS	Fixed axial bearing with welded flange plate
HVPS-1	Flange plate
HVR-S	U-channel profile rail for -53 bearings

REDI-RAIL
 COMMERCIAL RAIL
 HARDENED CROWN ROLLER
 V-GUIDE
 HEVI-RAIL



Hevi-Rail® HVB-055

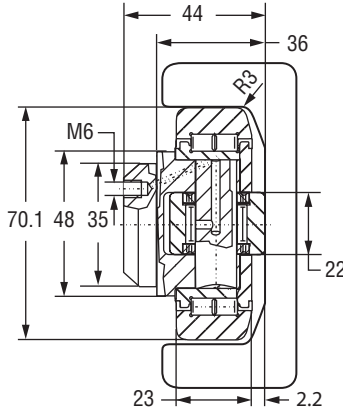
1.39 US Ton-Force



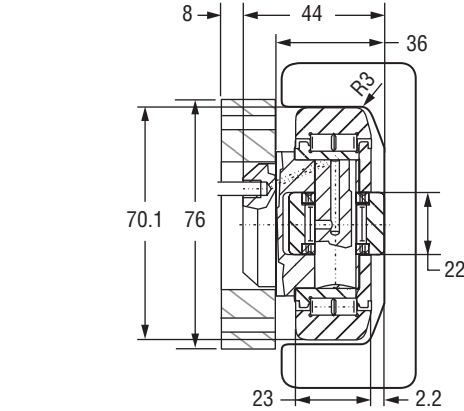
AXIAL BEARING FIXED HVB-055

Weight = 0.80 Kg
Maximum Bearing Loads:
Radial: Dynamic = 56 kN; Static = 93 kN
Axial: Dynamic = 17 kN; Static = 25 kN

Note: Above loads achievable when used with a hardened rail HRC 58-62 minimum 2.54 mm deep.



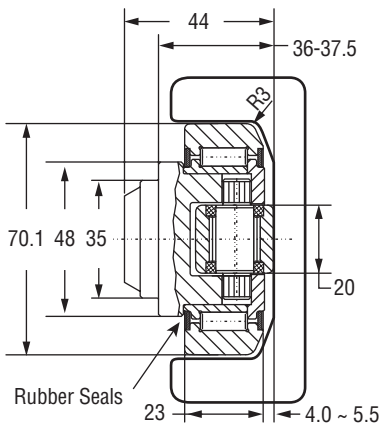
AXIAL BEARING – FIXED HVB-055/HVP1 WITH WELDED FLANGE PLATE



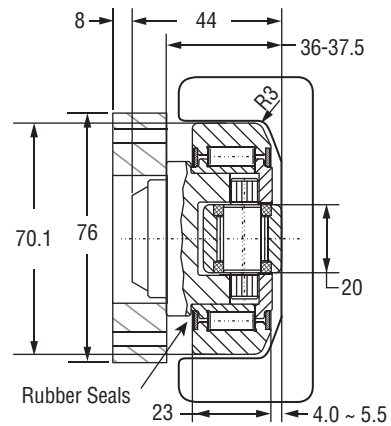
ECCENTRIC ADJUSTABLE HVBEA-455

Weight = 0.80 Kg
Maximum Bearing Loads:
Radial: Dynamic = 45.5 kN; Static = 51 kN
Axial: Dynamic = 13 kN; Static = 14 kN

Note: Above loads achievable when used with a hardened rail HRC 55 minimum 2.54 mm deep.



ECCENTRIC ADJUSTABLE HVBEA-455/HVP1 WITH WELDED FLANGE PLATE



Download CAD

REDI-RAIL
COMMERCIAL RAIL
HARDENED CROWN ROLLER
V-GUIDE
HEVI-RAIL

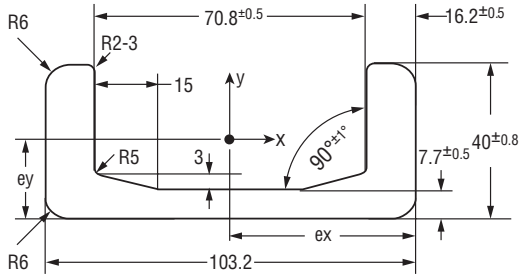


1.39 US Ton-Force

Hevi-Rail® HVB-055

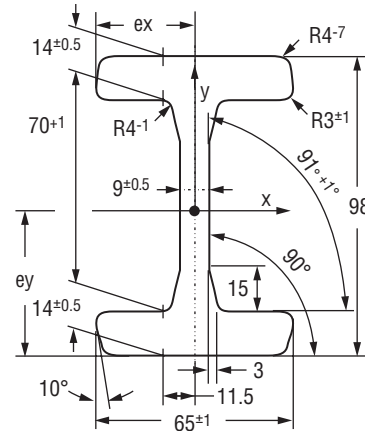
RAIL – U CHANNEL HVR-1

Weight = 14.8 Kg/m
 Moment of Inertia: $I_x = 27.29 \text{ cm}^4$; $I_y = 273.50 \text{ cm}^4$
 Moment of Resistance: $W_{x_{\min}} = 10.91 \text{ cm}^3$;
 $W_{x_{\max}} = 18.20 \text{ cm}^3$; $W_y = 53.00 \text{ cm}^3$
 Radius of Inertia: $i_x = 1.20 \text{ cm}$; $i_y = 3.81 \text{ cm}$
 Distance to Center of Gravity: $e_y = 1.50 \text{ cm}$; $e_x = 5.16 \text{ cm}$



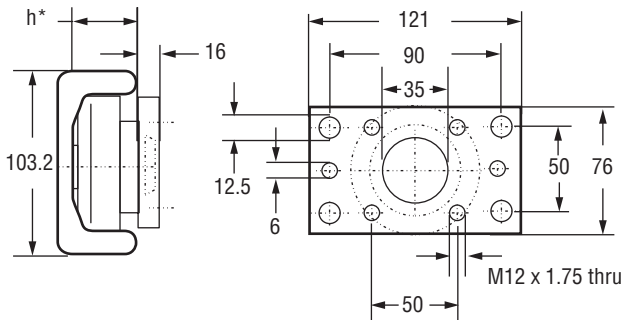
RAIL – I CHANNEL HVRI-07

Weight = 19.4 Kg/m
 Moment of Inertia: $I_x = 344.29 \text{ cm}^4$; $I_y = 57.63 \text{ cm}^4$
 Moment of Resistance: $W_x = 70.26 \text{ cm}^3$; $W_y = 17.73 \text{ cm}^3$
 Radius of Inertia: $i_x = 3.73 \text{ cm}$; $i_y = 1.52 \text{ cm}$
 Distance to Center of Gravity: $e_y = 4.90 \text{ cm}$; $e_x = 3.25 \text{ cm}$



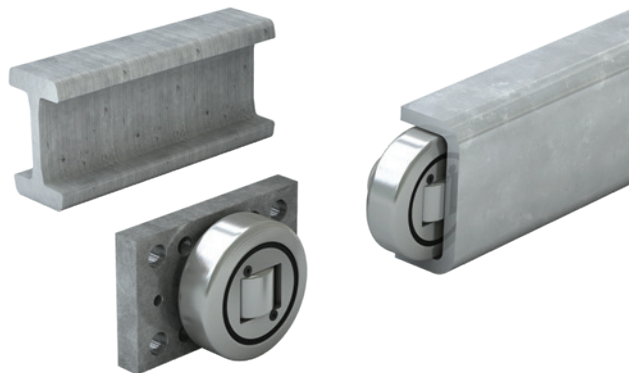
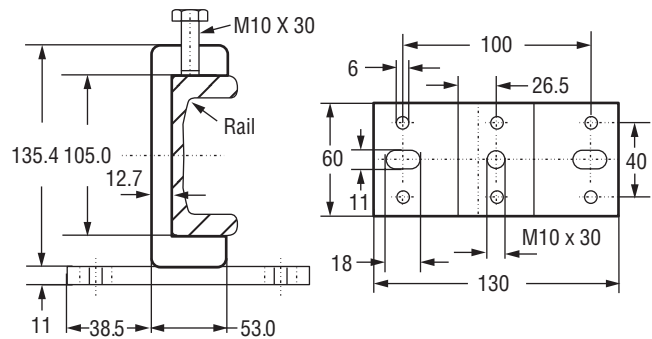
FLANGE PLATE HVP1-1

For ordering separate flange plate only



*Note: "h" refers to the depth of the axial bearing. This dimension depends on the choice of fixed axial bearing (HVB-055) or eccentric adjustable bearing (HVBEA-455).

CLAMP FLANGE HVC-1



ORDERING INFORMATION

PART NO.	DESCRIPTION
HVB-055	Fixed axial bearing
HVB-055/HVP1	Fixed axial bearing with welded flange plate
HVBEA-455	Eccentric adjustable axial bearing
HVBEA-455/HVP1	Eccentric adjustable axial bearing with welded flange plate
HVP1-1	Flange plate
HVR-1	U-channel rail for -55 bearings
HVRI-07	I-channel rail for -55 bearings
HVC-1	Clamp flange

REDI-RAIL
COMMERCIAL RAIL
HARDENED CROWN ROLLER
V-GUIDE
HEVI-RAIL



Hevi-Rail® HVB-056

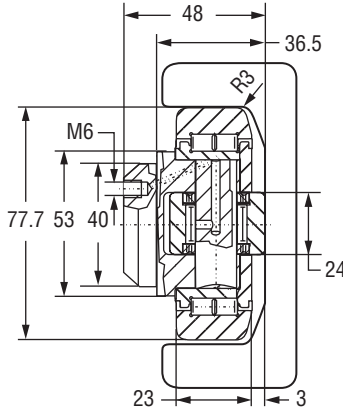
1.45 US Ton-Force



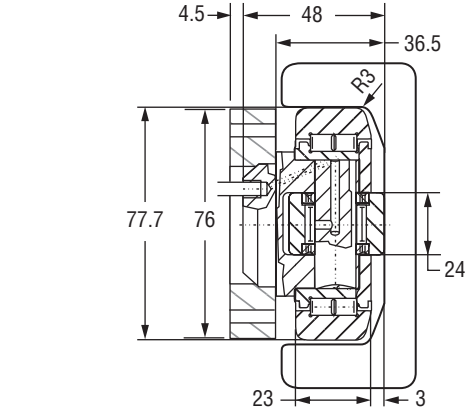
AXIAL BEARING – FIXED HVB-056

Weight = 1.00 Kg
Maximum Bearing Loads:
Radial: Dynamic = 48 kN; Static = 60.8 kN
Axial: Dynamic = 16 kN; Static = 18 kN

Note: Above loads achievable when used with a hardened rail HRC 55 minimum 2.54 mm deep.



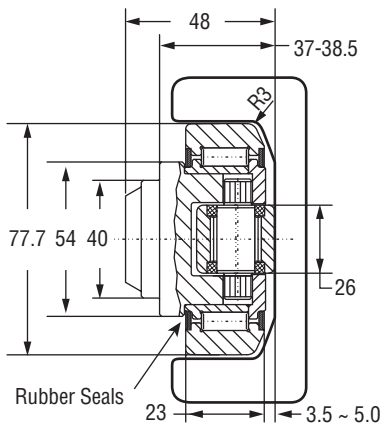
AXIAL BEARING – FIXED HVB-056/HVP2 WITH WELDED FLANGE PLATE



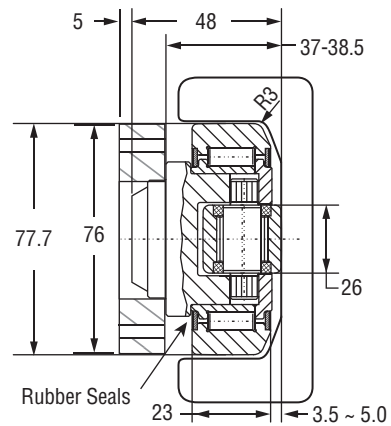
ECCENTRIC ADJUSTABLE HVBEA-456

Weight = 1.00 Kg
Maximum Bearing Loads:
Radial: Dynamic = 48 kN; Static = 56.8 kN
Axial: Dynamic = 18 kN; Static = 18 kN

Note: Above loads achievable when used with a hardened rail HRC 55 minimum 2.54 mm deep.



ECCENTRIC ADJUSTABLE HVBEA-456/HVP2 WITH WELDED FLANGE PLATE



Download CAD

REDI-RAIL
COMMERCIAL RAIL
HARDENED CROWN ROLLER
V-GUIDE
HEVI-RAIL

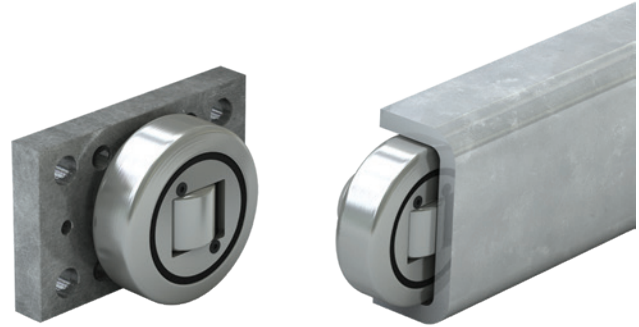
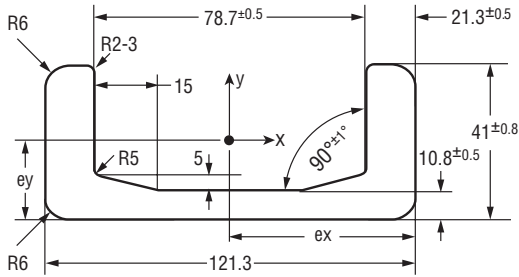


1.45 US Ton-Force

Hevi-Rail® HVB-056

RAIL – U CHANNEL HVR-2

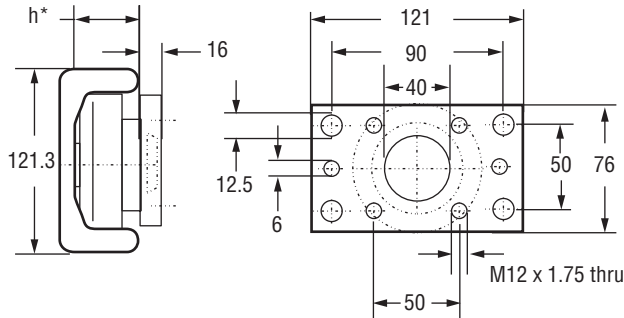
Weight = 20.9 Kg/m
 Moment of Inertia: $I_x = 37.92 \text{ cm}^4$; $I_y = 493.58 \text{ cm}^4$
 Moment of Resistance: $W_{x_{\min}} = 14.83 \text{ cm}^3$;
 $W_{x_{\max}} = 24.58 \text{ cm}^3$; $W_y = 81.38 \text{ cm}^3$
 Radius of Inertia: $i_x = 1.19 \text{ cm}$; $i_y = 4.30 \text{ cm}$
 Distance to Center of Gravity: $e_y = 1.54 \text{ cm}$; $e_x = 6.07 \text{ cm}$



● HEVI-RAIL BEARINGS
 Can be ordered with pre-welded flange plate

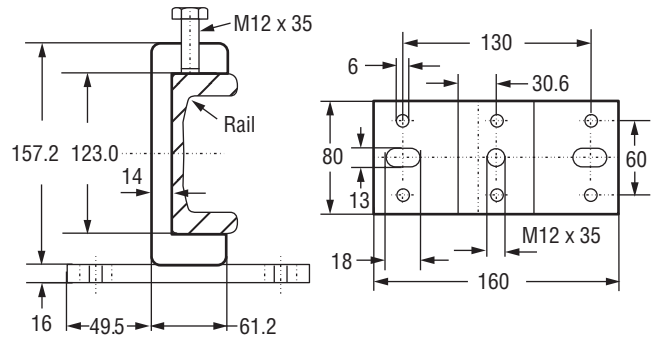
FLANGE PLATE HVP2-1

For ordering separate flange plate only



*Note: "h" refers to the depth of the axial bearing. This dimension depends on the choice of fixed axial bearing (HVB-056) or eccentric adjustable bearing (HVBEA-456).

CLAMP FLANGE HVC-2



ORDERING INFORMATION

PART NO.	DESCRIPTION
HVB-056	Fixed axial bearing
HVB-056/HVP2	Fixed axial bearing with welded flange plate
HVBEA-456	Eccentric adjustable axial bearing
HVBEA-456/HVP2	Eccentric adjustable axial bearing with welded flange plate
HVP2-1	Flange plate
HVR-2	U-channel rail for -56 bearings
HVC-2	Clamp flange

REDI-RAIL
 COMMERCIAL RAIL
 HARDENED CROWN ROLLER
 V-GUIDE
 HEVI-RAIL



Hevi-Rail® HVB-058

2.51 US Ton-Force



AXIAL BEARING – FIXED HVB-058

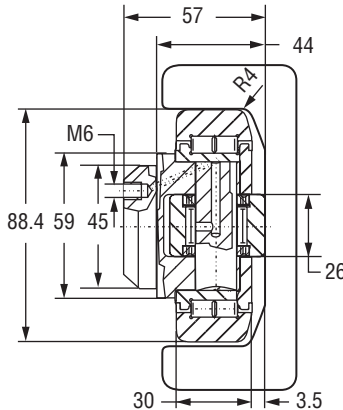
Weight = 1.62 Kg

Maximum Bearing Loads:

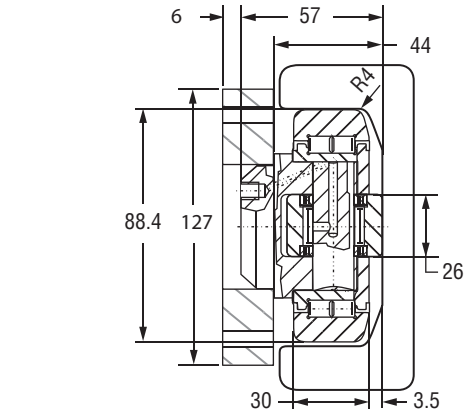
Radial: Dynamic = 60 kN; Static = 72 kN

Axial: Dynamic = 23 kN; Static = 40 kN

Note: Above loads achievable when used with a hardened rail HRC 55 minimum 2.54 mm deep.



AXIAL BEARING – FIXED HVB-058/HVP3 WITH WELDED FLANGE PLATE



ECCENTRIC ADJUSTABLE HVBEA-458

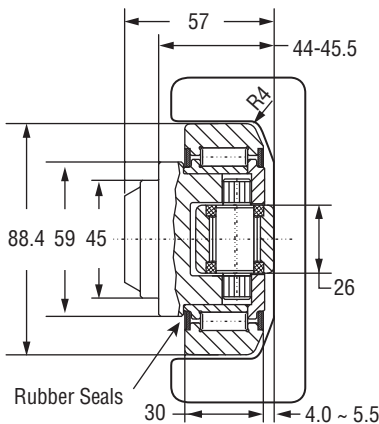
Weight = 1.62 Kg

Maximum Bearing Loads:

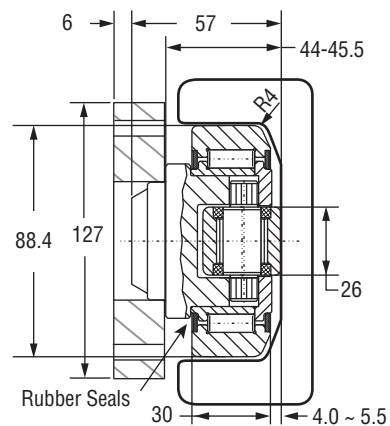
Radial: Dynamic = 68 kN; Static = 72 kN

Axial: Dynamic = 23 kN; Static = 23 kN

Note: Above loads achievable when used with a hardened rail HRC 55 minimum 2.54 mm deep.



ECCENTRIC ADJUSTABLE HVBEA-458/HVP3 WITH WELDED FLANGE PLATE



Download CAD

REDI-RAIL
COMMERCIAL RAIL
HARDENED CROWN ROLLER
V-GUIDE
HEVI-RAIL

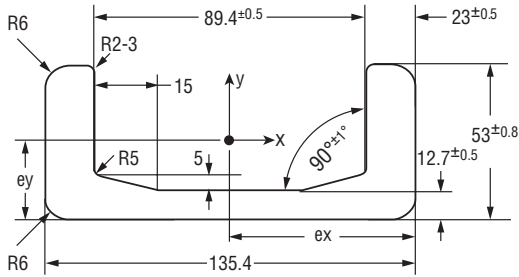


2.51 US Ton-Force

Hevi-Rail® HVB-058

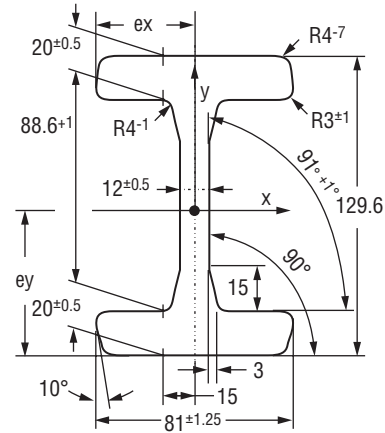
RAIL – U CHANNEL HVR-3

Weight = 14.8 Kg/m
 Moment of Inertia: $I_x = 89.47 \text{ cm}^4$; $I_y = 865.23 \text{ cm}^4$
 Moment of Resistance: $W_{x_{\min}} = 10.91 \text{ cm}^3$;
 $W_{x_{\max}} = 18.20 \text{ cm}^3$; $W_y = 53.00 \text{ cm}^3$
 Radius of Inertia: $i_x = 1.20 \text{ cm}$; $i_y = 3.81 \text{ cm}$
 Distance to Center of Gravity: $e_y = 1.50 \text{ cm}$; $e_x = 5.16 \text{ cm}$



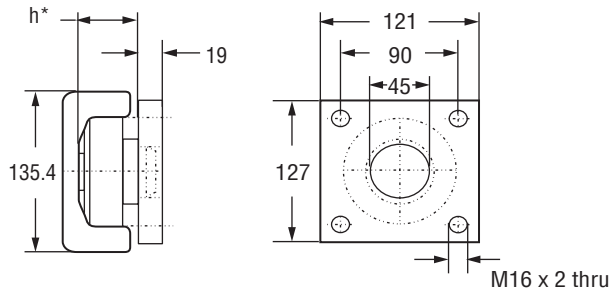
RAIL – I CHANNEL HVRI-09

Weight = 34.1 Kg/m
 Moment of Inertia: $I_x = 1037.22 \text{ cm}^4$; $I_y = 161.89 \text{ cm}^4$
 Moment of Resistance: $W_x = 160.07 \text{ cm}^3$; $W_y = 39.97 \text{ cm}^3$
 Radius of Inertia: $i_x = 4.89 \text{ cm}$; $i_y = 1.93 \text{ cm}$
 Distance to Center of Gravity: $e_y = 6.48 \text{ cm}$; $e_x = 4.05 \text{ cm}$

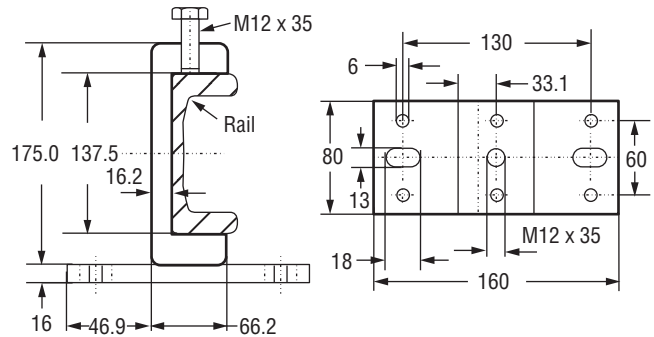


FLANGE PLATE HVP3-1

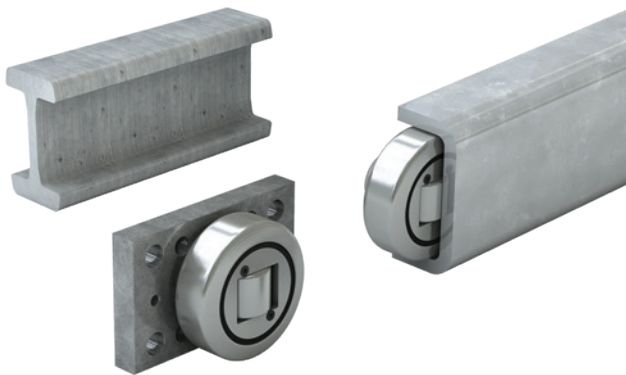
For ordering separate flange plate only



CLAMP FLANGE HVC-3



*Note: "h" refers to the depth of the axial bearing. This dimension depends on the choice of fixed axial bearing (HVB-058) or eccentric adjustable bearing (HVBEA-458).



ORDERING INFORMATION

PART NO.	DESCRIPTION
HVB-058	Fixed axial bearing
HVB-058/HVP3	Fixed axial bearing with welded flange plate
HVBEA-458	Eccentric adjustable axial bearing
HVBEA-458/HVP3	Eccentric adjustable axial bearing with welded flange plate
HVP3-1	Flange plate
HVR-3	U-channel rail for -58 bearings
HVRI-09	I-channel rail for -58 bearings
HVC-3	Clamp flange



Hevi-Rail® HVB-062

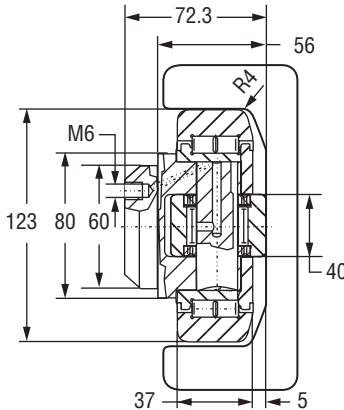
3.81 US Ton-Force



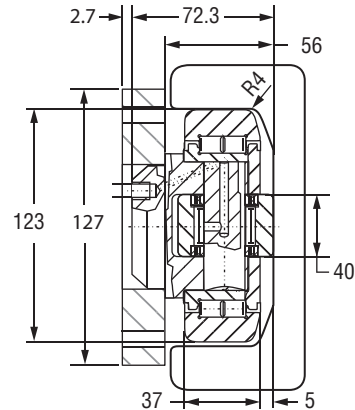
AXIAL BEARING – FIXED HVB-062

Weight = 4.50 Kg
Maximum Bearing Loads:
Radial: Dynamic = 134.5 kN; Static = 242 kN
Axial: Dynamic = 44.7 kN; Static = 74.2 kN

Note: Above loads achievable when used with a hardened rail HRC 55 minimum 2.54 mm deep.



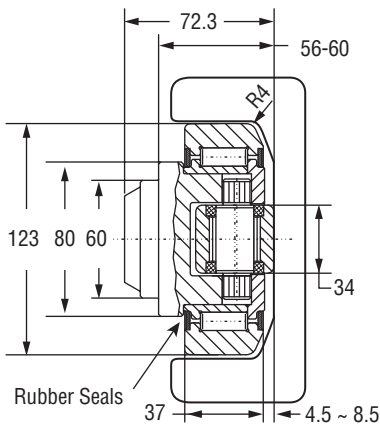
AXIAL BEARING – FIXED HVB-062/HVP4 WITH WELDED FLANGE PLATE



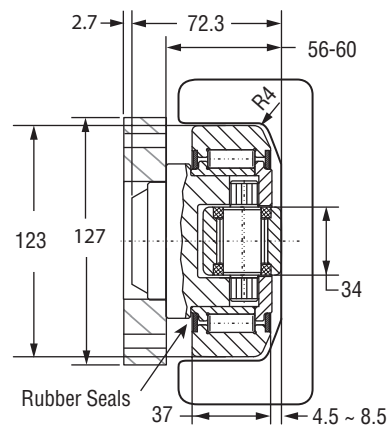
ECCENTRIC ADJUSTABLE HVBEA-462

Weight = 3.90 Kg
Maximum Bearing Loads:
Radial: Dynamic = 110 kN; Static = 132 kN
Axial: Dynamic = 43 kN; Static = 50 kN

Note: Above loads achievable when used with a hardened rail HRC 55 minimum 2.54 mm deep.



ECCENTRIC ADJUSTABLE HVBEA-462/HVP4 WITH WELDED FLANGE PLATE



Download CAD

REDI-RAIL
COMMERCIAL RAIL
HARDENED CROWN ROLLER
V-GUIDE
HEVI-RAIL

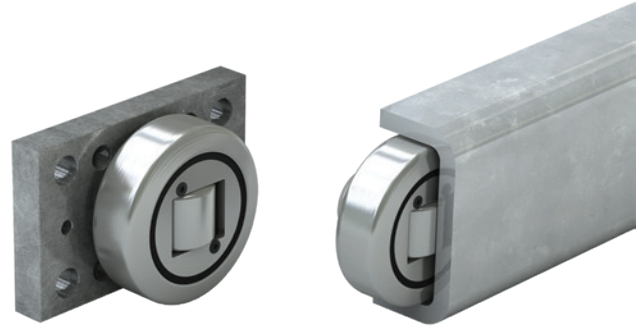
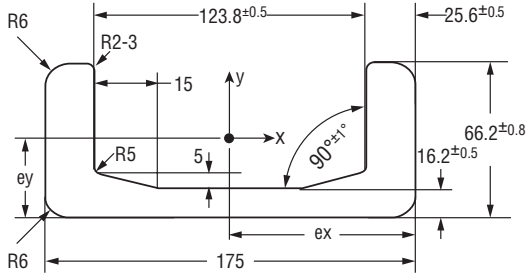


3.81 US Ton-Force

Hevi-Rail® HVB-062

RAIL – U CHANNEL HVR-5

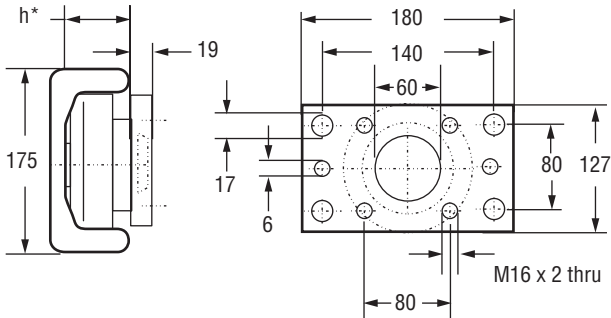
Weight = 42.9 Kg/m
 Moment of Inertia: $I_x = 205.84 \text{ cm}^4$; $I_y = 2185.32 \text{ cm}^4$
 Moment of Resistance: $W_{x_{\min}} = 48.42 \text{ cm}^3$;
 $W_{x_{\max}} = 86.89 \text{ cm}^3$; $W_y = 249.75 \text{ cm}^3$
 Radius of Inertia: $i_x = 1.94 \text{ cm}$; $i_y = 6.32 \text{ cm}$
 Distance to Center of Gravity: $e_y = 2.37 \text{ cm}$; $e_x = 8.75 \text{ cm}$



● HEVI-RAIL BEARINGS
 Can be ordered with pre-welded flange plate

FLANGE PLATE HVP4-1

For ordering separate flange plate only



*Note: "h" refers to the depth of the axial bearing. This dimension depends on the choice of fixed axial bearing (HVB-062) or eccentric adjustable bearing (HVBEA-462).

REDI-RAIL

COMMERCIAL RAIL

HARDENED CROWN ROLLER

V-GUIDE

HEVI-RAIL

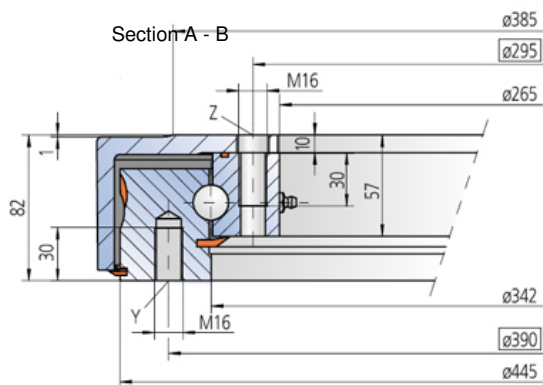
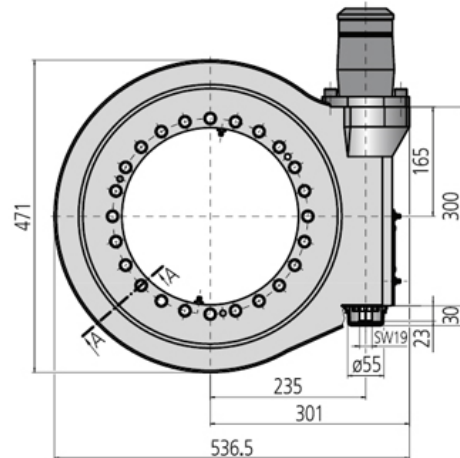
ORDERING INFORMATION

PART NO.	DESCRIPTION
HVB-062	Fixed axial bearing
HVB-062/HVP4	Fixed axial bearing with welded flange plate
HVBEA-462	Eccentric adjustable axial bearing
HVBEA-462/HVP4	Eccentric adjustable axial bearing with welded flange plate
HVP4-1	Flange plate
HVR-5	U-channel rail for -62 bearings

C.3 Catálogo IMO - WD-L Series

WD-L Series Size 0343 / single row

Please note: Dimensions in SI-system (metric)



Mounting holes

Y = 18 Holes M16-30 deep, equally spaced

Z = 24 Holes ø18-10 deep / M16-30 deep, equally spaced

Lubrication ports

2 Taper type grease nipples on the internal diameter

2 Taper type grease nipples on the outside of the housing

Slew Drive supplied pre-lubricated

Note, mounting face against upper surface shall be within the limits of ø343 and ø449

Drawing reference number WD-L 0343/3-04557			
Module	m	[mm]	5
Number of starts of the worm		[-]	1
Gear ratio	i	[-]	86
Self-locking gears**			no**
Maximum torque SFS = 1	$M_{d\ max}$	[Nm]	12905
Nom. torque SF = 1 at n = 1 rpm	$M_{d\ nom}$	[Nm]	10150
Maximum holding torque*	M_h	[Nm]	12905
Static load rating, radial	$C_{o\ rad}$	[kN]	338
Static load rating, axial	$C_{o\ ax}$	[kN]	905
Dynamic load rating, radial	C_{rad}	[kN]	157
Dynamic load rating, axial	C_{ax}	[kN]	183
Weight		[kg]	72

*Optional with brake

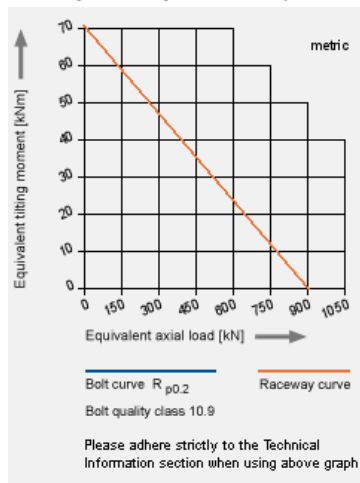
**Self-locking with mounted permanent brake or with mounted hydraulic motor and oil return stop

The selection of the hydraulic / electric motor depends on actual customer requirements and specifications.

Selection example: performance data with hydraulic motor H-160

Pressure differential	Δp	[bar]	145
Oil flow	Q	[l/min]	18
Output speed	n	[rpm]	1
Maximum achievable torque	M_d	[Nm]	12905

Limiting load diagram for 'compressive' load



Anexo D

Acessórios Complementares

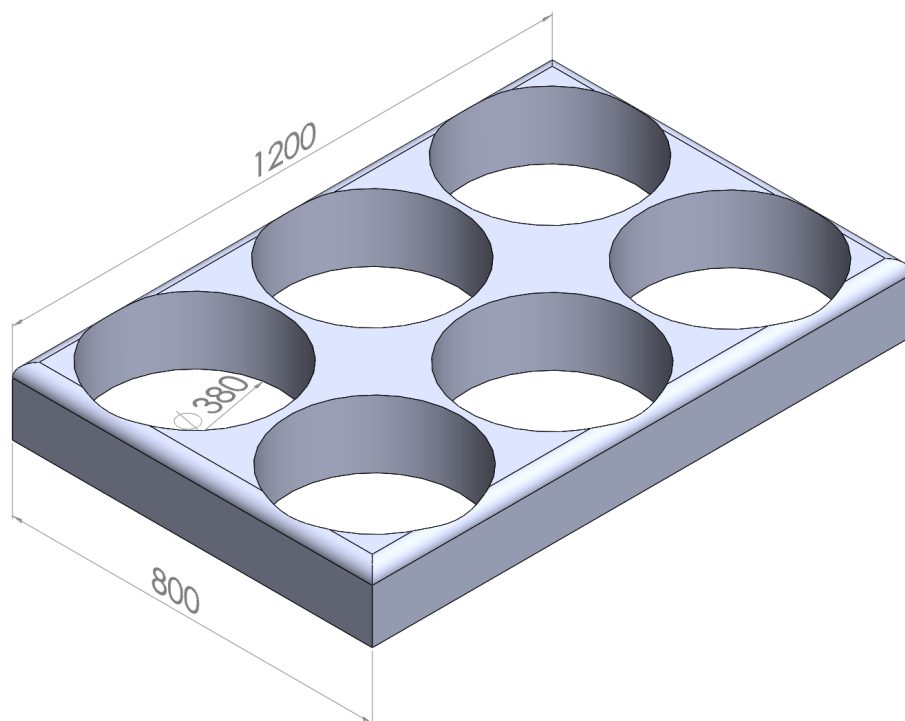


Figura D.1: Acessório para a paleta EUR-1 para barras na vertical. Acessório **P.001**

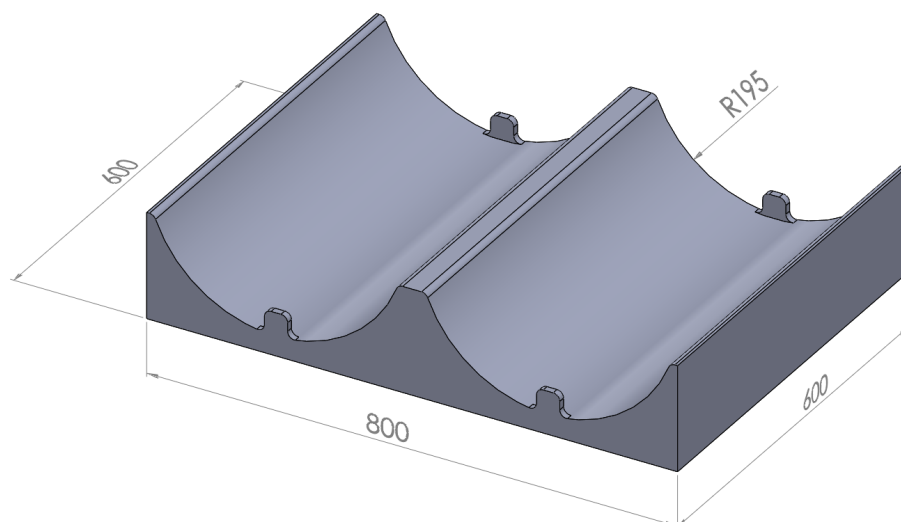


Figura D.2: Acessório para a paleta EUR-6 e para EUR-1 em duplicado (x2) para barras na horizontal. Acessório **P.002**

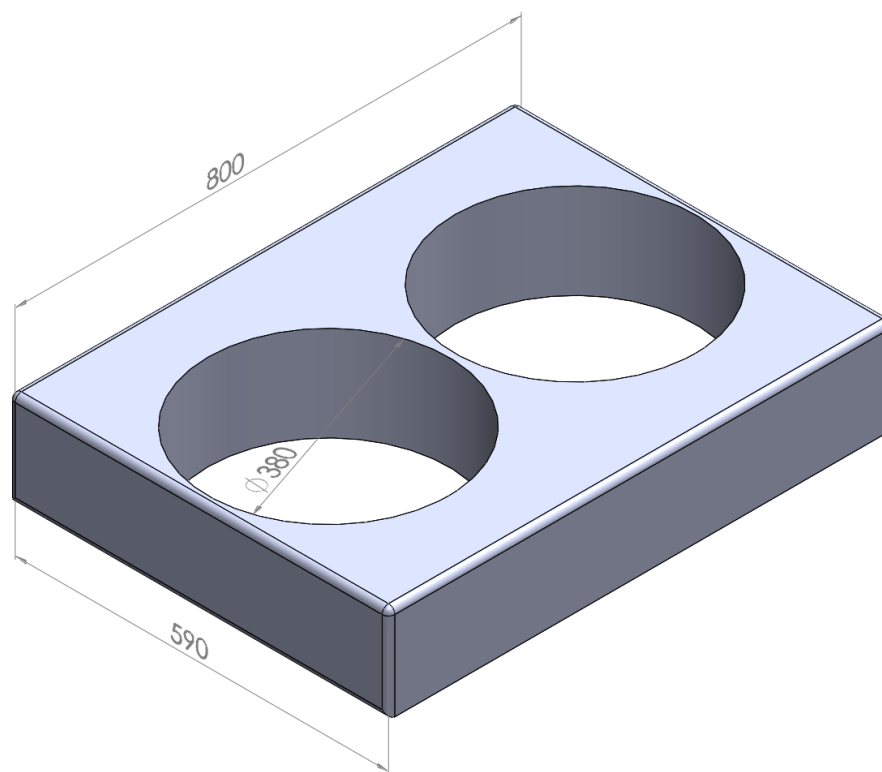


Figura D.3: Acessório para a paleta EUR-6 com barras na vertical. Acessório **P.003**

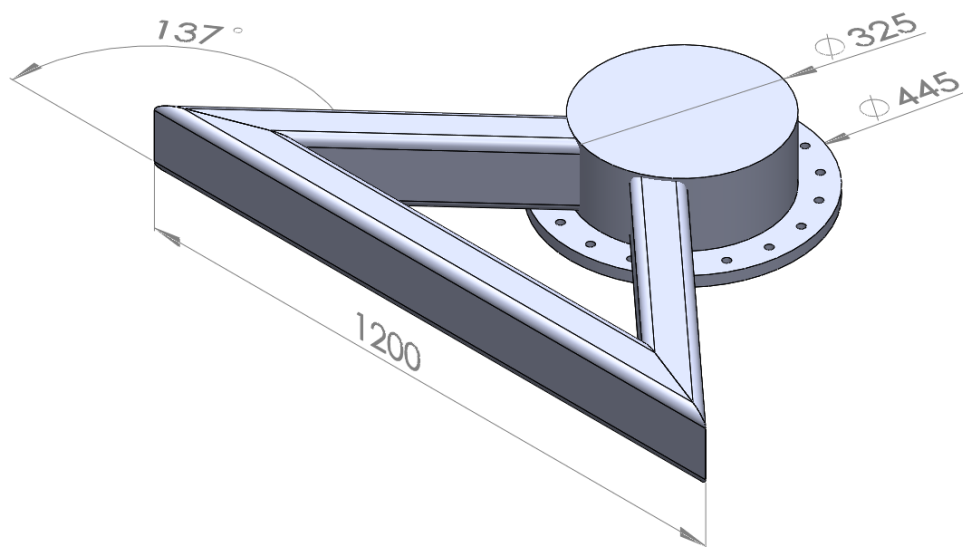


Figura D.4: Acessório para ligação entre o transelevador e o sistema de translação. Acessório **T.001**

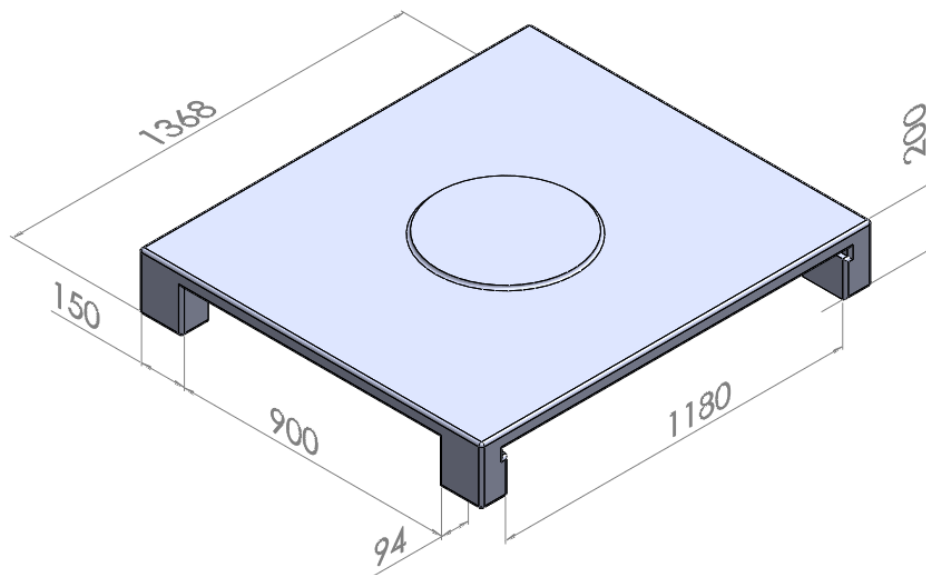


Figura D.5: Acessório para o sistema de translação. Acessório **T.002**

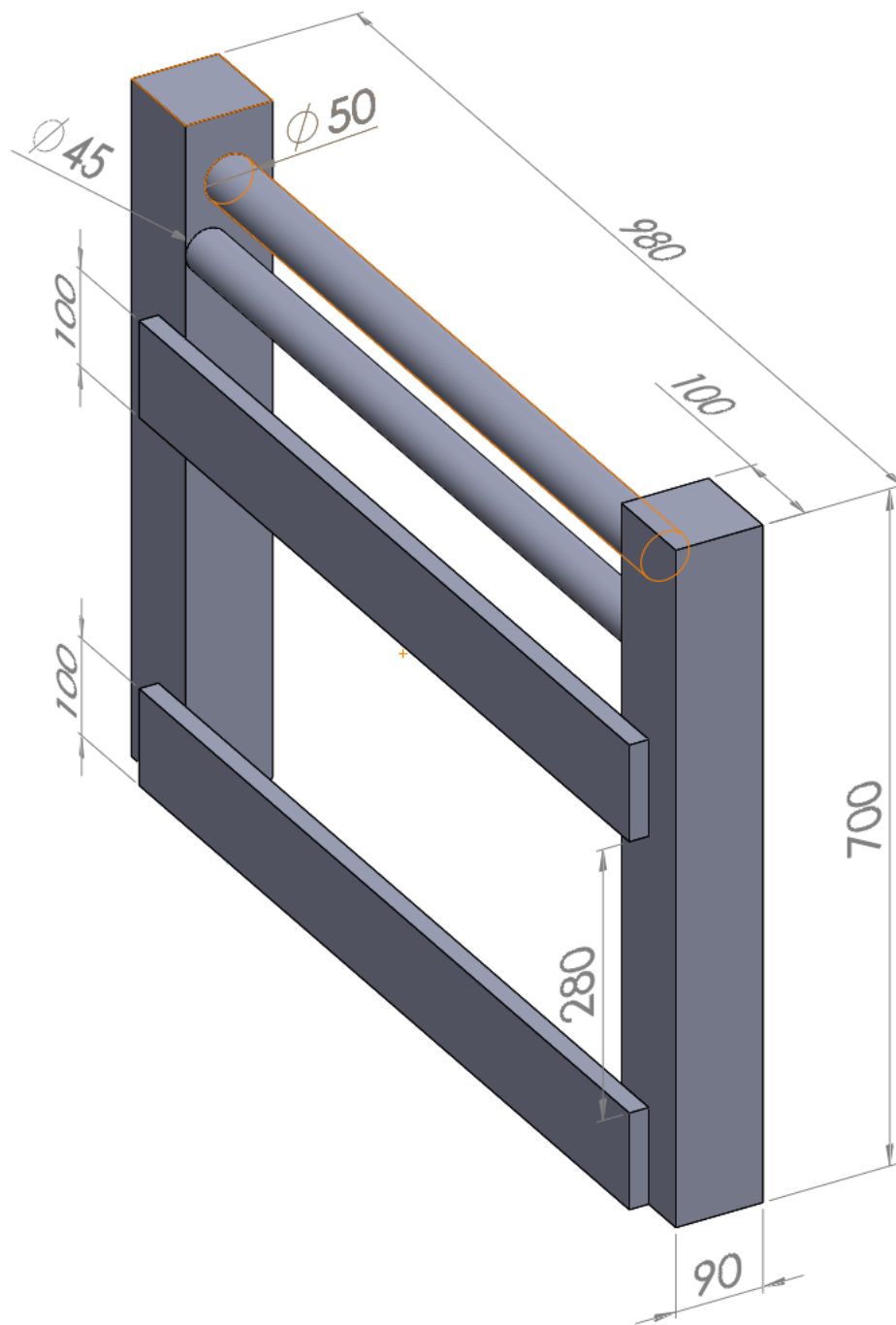


Figura D.6: Acessório para ligação entre o transelevador e o sistema de translação. Acessório
T.003