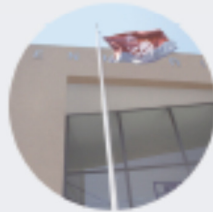




VERIFICAÇÃO NÚMÉRICA E EXPERIMENTAL DE ESTRUTURA AUTOPORTANTE PARA ELEVADORES DO TIPO HOMELIFT

EMMANUEL MENDES PETEJO

outubro de 2018



VERIFICAÇÃO NÚMERICA E EXPERIMENTAL DE ESTRUTURA AUTOPORTANTE PARA ELEVADORES DO TIPO HOMELIFT

EMMANUEL MENDES PETEJO

Outubro de 2018

VERIFICAÇÃO NÚMERICA E EXPERIMENTAL DE ESTRUTURA AUTOPORTANTE PARA ELEVADORES DO TIPO HOMELIFT

Emmanuel Mendes Petejo
1101316

2018

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica

VERIFICAÇÃO NÚMERICA E EXPERIMENTAL DE ESTRUTURA AUTOPORTANTE PARA ELEVADORES DO TIPO HOMELIFT

Emmanuel Mendes Petejo
1101316

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação do Doutor Fernando José Ferreira, do Instituto Superior de Engenharia do Porto.

2018

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica

JÚRI

Presidente

Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho
Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Orientador

Doutor Fernando José Ferreira
Professor Coordenador, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Arguente

Doutor José Luís Soares Esteves
Professor auxiliar, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Doutor Fernando José Ferreira, pelos seus vastos conhecimentos científicos que me procurou transmitir de forma paciente, pela sua elevada experiência que foram evidentes nos esclarecimentos que lhe foram solicitados, pela sua disponibilidade permanente, pelo incentivo prestado ao longo deste trabalho no qual foi evidente o espírito de confiança, sábios conselhos e sentido crítico, permitiram realizar este trabalho.

Ao laboratório de tecnologia mecânica pela disponibilidade do espaço e das ferramentas necessárias para a realização dos ensaios. Em particular ao Eng.º Vítor Moreira, ao Eng.º Vítor Ribeiro e ao professor Hernâni Lopes.

À empresa GRUPNOR®, agradeço o tempo que me disponibilizou para a realização deste trabalho, assim como, o fabrico e transporte de todos os componentes para efetuar os ensaios.

À minha família, que ao longo destes últimos anos foram privados por diversas vezes da minha companhia, agradeço pelo apoio, força e amor que me deram durante a minha vida académica.

A todos os amigos que fiz no Ensino Superior, particularizando o grupo “André Coutinho, Eduardo Amorim, João Araújo”, que me acompanharam desde o início da minha licenciatura. A todos eles agradeço a amizade e compreensão.

PALAVRAS CHAVE

Elevadores, *Homelift*, Estruturas

RESUMO

Os ascensores para habitações são hoje em dia uma máquina imprescindível na nossa sociedade. Quando é projetada uma moradia, um edifício de apartamentos para habitações ou escritórios, é obrigatório por lei que este esteja equipado com acessos a pessoas com mobilidade condicionada em que usualmente é utilizado o ascensor para permitir o acesso. Esta indústria oferece também equipamentos para moradias ou requalificações de pequenos edifícios antigos que não foram equipados originalmente com ascensores. Quer por comodidade, ou por acesso a pessoas com mobilidade condicionada, este produto é cada vez mais procurado para instalação em habitações, neste caso os fabricantes oferecem um produto dedicado: o *homelift*.

Neste trabalho foi realizado um estudo da estrutura autoportante de um elevador do tipo *homelift* da empresa GRUPNOR®. Este tipo de elevadores é normalmente instalado em habitações, com capacidade para 5 pessoas e até 4 pisos. O trabalho centrou-se na avaliação do comportamento da estrutura autoportante que suporta este tipo de equipamento. Esta estrutura é indispensável quando não existe uma caixa em alvenaria específica para a sua montagem. Não foram abordados os aspetos do sistema de elevação, central hidráulica nem o sistema de suspensão.

A estrutura autoportante desenvolvida pela GRUPNOR® para os *homelifts* utiliza perfis enformados a frio pelas vantagens que confere na flexibilidade de diferentes combinações e por este ser o principal processo de fabrico utilizado pela empresa.

Depois de executado o levantamento da estrutura existente, foram avaliados diferentes casos de carga recorrendo aos elementos finitos.

Foi realizado um programa de ensaios para determinar a carga crítica à encurvadura dos perfis abertos utilizados como pilares.

Concluiu-se pelo bom desempenho do produto com indicação de pontos sensíveis passíveis de melhoria.

KEYWORDS

Lifts, Homelift, Structures

ABSTRACT

The elevators for housing are nowadays an indispensable machine in our society. When a house is designed, an apartment building for dwellings or offices, it is mandatory by law that it is equipped with access to persons with impaired mobility, which the lift is usually used to allow access. This industry also offers equipment for housing or requalification of small old buildings that were not originally equipped with elevators. Whether for convenience or access to persons with impaired mobility, this product is increasingly sought after for installation in housing, in this case the manufacturers offer a dedicated product: the homelift.

In this work was carried out a study of the self-supporting structure of a homelift of the company GRUPNOR[®]. This type of lifts is usually installed in dwellings, with capacity for 5 people and up to 4 floors. This work focused on the evaluation of the behavior of the self-supporting structure that supports this type of equipment. This structure is indispensable when there is no box in masonry specific for its assembly. The aspects of the lifting system, power station and suspension system were not addressed.

The self-supporting structure developed by GRUPNOR[®] for the homelifts uses cold formed profiles for the advantages that it gives in the flexibility of different combinations and for this being the main manufacturing process used by the company.

After performing the survey of the existing structure, different cases of load were evaluated using the finite elements.

A test program was conducted to determine the critical load on the buckling of the open profiles used as pillars.

It was concluded by the good performance of the product with indication of possible points of improvement.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas

EN	Norma Europeia (<i>European Standard</i>)
ISO	Organização Internacional para a Standardização (<i>International Organization for Standardization</i>)
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
LCA	Avaliação do Ciclo de Vida (<i>Life Cycle Assessment</i>)
LVDT	Transformador Diferencial de Variação Linear (<i>Linear Variable Differential Transformer</i>)
MEF	Método dos Elementos Finitos
REAE	Regulamento de Estruturas de Aço para Edifícios

Lista de Unidades

bar	Unidade de pressão
kg	Quilograma
m	Metro
mm	Milímetro
mm ⁴	Milímetro à quarta
m/s	Metro por segundo
Mpa	Megapascal
N	Newton
N/m ²	Newton por metro ao quadrado

Lista de Símbolos

A_g	Área bruta da secção
E	Módulo de Elasticidade (Young)
f_{ya}	Tensão de cedência média
f_{yb}	Tensão de cedência nominal do material
ν	Coefficiente de Poisson

GLOSSÁRIO DE TERMOS

<i>Homelift</i>	Plataforma elevatória vertical para transporte de pessoas
Pegada ecológica	Indicador de sustentabilidade ambiental
<i>Software</i>	Programa informático

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - PARAQUEDAS DE OTIS [1]	25
FIGURA 2 – ESQUEMA DE MONTAGEM DO CABO DE SUSPENSÃO PARA ACIONAMENTO ELÉTRICO. 1:1 (ESQUERDA) E 2:1 (DIREITA)	26
FIGURA 3 – MÁQUINA COM REDUTOR [6]	27
FIGURA 4 – MÁQUINA <i>GEARLESS</i> [6]	27
FIGURA 5 – A) ACIONAMENTO HIDRÁULICO DIRETO 1:1, B) ACIONAMENTO HIDRÁULICO INDIRETO 2:1	28
FIGURA 6 – CENTRAL HIDRÁULICA COM ACUMULADOR DE PRESSÃO [6]	28
FIGURA 7 – CILINDROS HIDRÁULICOS [6]	29
FIGURA 8 - FUNICULAR BOM JESUS DE BRAGA, [10].	29
FIGURA 9- LCA (ISO STANDARD 14040:2006) [7]	30
FIGURA 10 - DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS DE IMPACTO PARA O MODELO 1 (ELEV. HIDRÁULICO) E MODELO 2 (ELEV. ELÉTRICO) [14]	30
FIGURA 11 – PORMENOR DO POSICIONAMENTO DA ARCADA	32
FIGURA 12 – VÁLVULA DE SEGURANÇA, QUE ATUA EM CASO DE RUTURA, [3].	33
FIGURA 13 – CABINA MODELO HLINE DA GRUPNOR® [8]	34
FIGURA 14 – ESTRUTURA PARA <i>HOMELIFTS</i> DA EMPRESA IGV® [11]	39
FIGURA 15 - ESTRUTURA PARA <i>HOMELIFTS</i> DA EMPRESA ENOR® [12]	40
FIGURA 16 - ESTRUTURA PARA <i>HOMELIFTS</i> DA EMPRESA SCHMITT+SOHN® [13]	40
FIGURA 17 - ESTRUTURA PARA <i>HOMELIFTS</i> DA EMPRESA GRUPNOR®	41
FIGURA 18 – SECÇÃO TRANSVERSAL DO PERFIL UTILIZADO PELA GRUPNOR®	42
FIGURA 19 – PEÇA DE LIGAÇÃO EXTERIOR DOS PILARES DA ESTRUTURA AUTOPORTANTE	42
FIGURA 20 – UTILIZAÇÃO DA PEÇA DE LIGAÇÃO EXTERIOR NA ZONA DE UNIÃO COM AS TRAVESSAS.	43
FIGURA 21 – LOCALIZAÇÃO DAS TRAVESSAS NA ESTRUTURA AUTOPORTANTE	43
FIGURA 22 - DETERMINAÇÃO DA RIGIDEZ DA MOLA[1] [5] EN 1993-1-3, EUROCÓDIGO 3 – PARTE 1-3	46
FIGURA 23 – QUADRO 5.3.2 DO EC3	47
FIGURA 24 – BLOCO DE PARAQUEDAS INSTANTÂNEO [15]	52
FIGURA 25 – FORÇAS ATUANTES SOBRE A ARCADA	52
FIGURA 26 – EIXOS DAS GUIAS	54
FIGURA 27 – CABINA EM CONSOLA EM RELAÇÃO ÀS GUIAS E A SUSPENSÃO	54
FIGURA 28 – PRIMEIRA PÁGINA DO RESULTADO OBTIDO NO SOFTWARE DA SAVERA® [16]	55
FIGURA 29 – SECÇÃO TRANSVERSAL DO PILAR UTILIZADO NA ESTRUTURA AUTOPORTANTE DOS <i>HOMELIFT</i> GRUPNOR® E OBJETO DE ESTUDO NESTE TRABALHO.	56
FIGURA 30 – MOMENTOS DE INÉRCIA DO PILAR DA ESTRUTURA	56
FIGURA 31 – PARTE DA SECÇÃO TRANSVERSAL DO PILAR CONSIDERADO PARA O CÁLCULO À ENCURVADURA.	58
FIGURA 32 - PILAR DA ESTRUTURA DIVIDIDO AO MEIO.	59
FIGURA 33 – À ESQUERDA A ESTRUTURA COM AS CARGAS APLICADAS (CASO DE CARGA 1) E À DIREITA AS RESPECTIVAS DEFORMAÇÕES OBTIDAS (CASO DE CARGA 1)	62

FIGURA 34 – À ESQUERDA O CASO DE CARGA 7 E À DIREITA OS RESPETIVOS DESLOCAMENTOS OBTIDOS	63
FIGURA 35 - TRAVESSA DA ESTRUTURA INICIAL	65
FIGURA 36 – REPRESENTAÇÃO DAS CARGAS NA TRAVESSA DA ESTRUTURA AUTOPORTANTE	65
FIGURA 37 – DIAGRAMA DE CARGAS DA TRAVESSA DA ESTRUTURA	66
FIGURA 38 - TRAVESSA DA ESTRUTURA REFORÇADA	67
FIGURA 39 – CILINDRO HIDRÁULICO LARZEP UTILIZADO PARA MECANISMO DE ENSAIO	70
FIGURA 40 – CÉLULA DE CARGA HBM UTILIZADA COM CAPACIDADE ATÉ 250 KN	70
FIGURA 41 – ACESSÓRIO PARA APLICAR A CARGA NO CENTROIDE DO PERFIL.	71
FIGURA 42 – PEÇA APLICADA NAS EXTREMIDADES DOS PILARES COM A POSIÇÃO DA FURAÇÃO EFETUADA	71
FIGURA 43 – ESTRUTURA PARA ENSAIO À ENCURVADURA DO PILAR.	72
FIGURA 44 – FIXAÇÃO DO CILINDRO À ESTRUTURA DE ENSAIO	73
FIGURA 45 – CONJUNTO DE ELEMENTOS DE FIXAÇÃO PROJETADOS PARA O DISPOSITIVO DE ENSAIO	74
FIGURA 46 – PILAR APOIADO NA CÉLULA DE CARGA.	74
FIGURA 47 - BOMBA DE MARCA LARZEP	75
FIGURA 48 – LVDT UTILIZADO PARA MEDIR OS DESLOCAMENTOS DURANTE OS ENSAIOS	76
FIGURA 49 - CONDICIONADOR DE SINAL DA MARCA VISHAY COM AS LIGAÇÕES EFETUADAS.	76
FIGURA 50 – VISTA GLOBAL DE TODA A MONTAGEM DO DISPOSITIVO DE ENSAIO.	77
FIGURA 51 - GRÁFICO CARGA VS DESLOCAMENTO DO PRIMEIRO ENSAIO REALIZADO	78
FIGURA 52 - DEFORMAÇÃO PLÁSTICA DO PINO AINDA POSICIONADO NO DISPOSITIVO DE TESTE	78
FIGURA 53 - DEFORMAÇÃO PLÁSTICA DO PINO	79
FIGURA 54 – GRÁFICO CARGA VS DESLOCAMENTO DO SEGUNDO ENSAIO REALIZADO	80
FIGURA 55 – DEFORMAÇÃO PLÁSTICA DA BARRA DE APOIO DO CILINDRO	80
FIGURA 56 - REFORÇOS SOLDADOS NA BARRA DE APOIO DO CILINDRO	81
FIGURA 57 - APLICAÇÃO DE MAIS 4 PARAFUSOS PARA AUMENTAR A RESISTÊNCIA AO CORTE NAS EXTREMIDADES.	82
FIGURA 58 - GRÁFICO CARGA VS DESLOCAMENTO DO TERCEIRO ENSAIO REALIZADO	83
FIGURA 59 – VISTA GLOBAL DO TERCEIRO ENSAIO REALIZADO	83
FIGURA 60 - GRÁFICO CARGA VS DESLOCAMENTO DO QUARTO ENSAIO REALIZADO	84
FIGURA 61 - VISTA GLOBAL DO QUARTO ENSAIO REALIZADO	84
FIGURA 62 - GRÁFICO CARGA VS DESLOCAMENTO DO QUINTO ENSAIO REALIZADO	85
FIGURA 63 - VISTA GLOBAL DO QUINTO ENSAIO REALIZADO	85

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - TENSÕES OBTIDAS COM A TRAVESSA INICIAL	64
TABELA 2 - TENSÕES OBTIDAS COM A TRAVESSA REFORÇADA	68

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO.....	25
1.1	Contextualização.....	25
1.1.1	Tipos de elevadores.....	26
1.1.2	<i>Homelift</i> modelo GRUPNOR®	32
1.2	Objetivos.....	35
1.3	Organização da dissertação	35
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	39
2.1	Estruturas de elevadores do tipo <i>homelift</i>	39
2.2	Estrutura de elevador do tipo <i>homelift</i> da GRUPNOR®	41
2.3	Tratamento dos enformados a frio pelo Eurocódigo 3	44
3	DESENVOLVIMENTO (ANÁLISE ESTRUTURAL AO DESENHO ATUAL DA ESTRUTURA DO <i>HOMELIFT</i>)	51
3.1	Cálculo das forças exercidas na estrutura	51
3.1.1	Cálculo das forças exercidas nas guias segundo a norma EN81-2:1998	53
3.1.2	Cálculo das forças exercidas nas guias segundo o <i>software</i> da Savera®	55
3.2	Cálculo analítico da encurvadura dos pilares.....	55
3.3	Simulação numérica	61
3.4	Ensaio realizado	69
3.4.1	Montagem do dispositivo para ensaios à encurvadura	73
3.4.2	Primeiro ensaio	77
3.4.3	Segundo ensaio	79
3.4.4	Terceiro ensaio.....	82
3.4.5	Quarto ensaio	84
3.4.6	Quinto ensaio.....	85

4	CONCLUSÕES.....	89
4.1	Conclusões	89
4.2	Limitações/dificuldades.....	90
4.3	Proposta de trabalhos futuros	90
5	BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO	93
5.1	FONTES WEB	93
6	ANEXOS.....	97
6.1	Valores que originaram os gráficos dos ensaios	97
6.2	Resultado integral do cálculo das guias no software da Savera	107
6.3	Certificado da chapa utilizada no fabrico da estrutura autoportante.....	111

INTRODUÇÃO

- 1.1 Contextualização
- 1.2 Objetivos
- 1.3 Organização da dissertação

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

Em 1854, Elisha Graves Otis, durante uma admirável exibição no Crystal Palace em Nova York, pendurado numa plataforma em frente a uma multidão, cortou a única corda de suporte com um machado, Figura 1. A plataforma descaiu uns centímetros e parou. “Tudo Seguro Senhoras e Senhores, tudo seguro!” disse Otis, desconhecendo que tinha dado início a uma nova realidade. A criação do paraquedas para os sistemas de elevação.

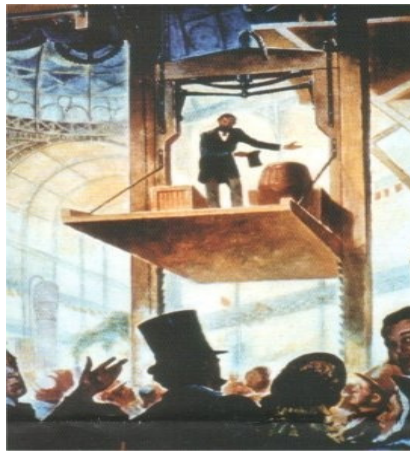


Figura 1 - Paraquedas de Otis [1]

Com efeito, o desenvolvimento do sistema de paraquedas trouxe enormes consequências, permitindo o desenvolvimento vertical dos edifícios, trazendo uma melhor qualidade de vida, e fazendo com que o elevador se estabelecesse como o meio de transporte mais seguro do mundo [1].

Atualmente, o crescimento em altura verificado em grandes (e pequenas...) cidades seria impensável sem um adequado e seguro sistema de transportes verticais. E se é verdade que o funcionamento do elevador, tecnicamente evoluiu de forma contida, já nos sistemas de controlo e segurança a evolução é constante, com legislação Comunitária e Nacional cada vez mais exigente com o objetivo centrado na contínua melhoria da segurança e conforto dos utilizadores. A necessidade de criar acessibilidades para pessoas com limitações físicas em edifícios antigos ou mesmo habitações particulares obrigam muitas vezes a instalar um pequeno elevador, num espaço limitado não preparado para o efeito, o que impõem uma estrutura autoportante para que o elevador possa ser instalado.

Neste trabalho será abordado o tema dos elevadores de habitação, e irá ser feita uma análise da estrutura de um elevador do tipo *homelift*, tecnicamente uma plataforma elevatória vertical para transporte de pessoas, como referenciado na norma EN81-41:2010.

1.1.1 Tipos de elevadores

Os elevadores poderão ser divididos em dois grandes grupos consoante o tipo de acionamento. O mais convencional é o eletromecânico, equipado com um motor elétrico e um redutor mecânico (atualmente já existem modelos que dispensam o redutor).

Estes sistemas utilizam um contrapeso com o objetivo de reduzir a potência elétrica necessária ao funcionamento do equipamento, para este efeito o valor usualmente adotado é igual ao peso da cabina + arcada + porta de cabina e metade da carga máxima.

Conforme se pode observar na Figura 2, o esquema de montagem do cabo de suspensão pode ser do tipo direto (1:1) ou com desmultiplicação (2:1).

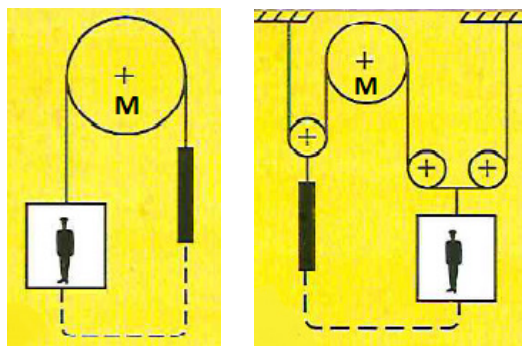


Figura 2 – Esquema de montagem do cabo de suspensão para acionamento elétrico. 1:1 (esquerda) e 2:1 (direita)

O sistema com redutor, pela desmultiplicação mecânica, permite reduzir a dimensão do motor. Geralmente são utilizados motores elétricos de indução, acoplados a uma caixa redutora de parafuso sem fim e roda de coroa, como se exemplifica na Figura 3.



Figura 3 – Máquina com redutor [10]

Este sistema é fiável, de construção simples e económica, mas que não permite velocidades muito elevadas, necessárias em edifícios muito altos.

No caso de edifícios muito altos, com cerca de 15 andares ou mais, para reduzir o tempo de viagem são preferidas velocidades maiores, neste caso é necessário o uso de máquinas mais potentes com pouca desmultiplicação mecânica ou mesmo sem redutor.

Foi Otis, em 1903, que apresentou um conceito revolucionário: a máquina “*gearless*” (sem redutor) que permitia operar elevadores com velocidades até 2,54 m/s – ideal para prédios de grande altura.

Atualmente, este sistema de máquina sem redutor, conforme exibido na Figura 4, é baseado em motores de ímãs permanentes de elevado binário e conjugados com sofisticados variadores de velocidade. Esta solução tem-se implantado, sobretudo devido a grandes avanços tecnológicos neste tipo de motores, e ao facto de permitir elevadores sem a tradicional “casa das máquinas”, porque permite a construção de sistemas que ocupam muito pouco espaço mesmo em edifícios de grande altura.



Figura 4 – Máquina *Gearless* [10]

Outro tipo de acionamento também muito utilizado é o electro-hidráulico, com uma montagem conforme se observa na Figura 5. Aplica-se um motor elétrico de indução para acionar uma bomba hidráulica e um cilindro hidráulico para elevar a cabina, com a transmissão de energia através de um fluido hidráulico. Este cilindro hidráulico pode ter a extremidade da sua haste ligada diretamente à arcada, num acionamento direto, ou ter fixa uma roldana elevando a arcada através de cabos num acionamento indireto. A escolha por uma destas alternativas prende-se principalmente com a relação entre a altura a elevar e a altura disponível na caixa.

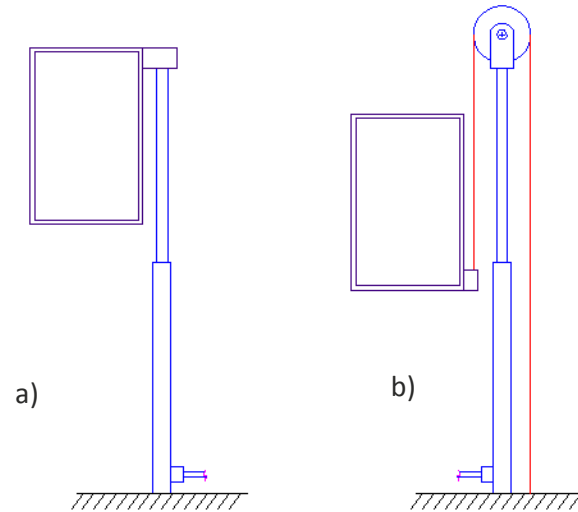


Figura 5 – a) Acionamento hidráulico direto 1:1, b) Acionamento hidráulico indireto 2:1

Estes sistemas têm uma central hidráulica conforme se observa na Figura 6, onde se localiza o motor, bloco de válvulas e reservatório de óleo, podendo utilizar um sistema de acumulador de pressão, em alternativa ao contrapeso, com o objetivo de diminuir o consumo de energia na subida, uma vez que a descida é feita pela atuação da gravidade.



Figura 6 – Central hidráulica com acumulador de pressão [7]

Em alguns caso menos usuais são aplicados acionamentos indiretos de 3:1 ou 4:1, consoante a necessidade de desmultiplicação. Na Figura 7 é possível observar alguns modelos de cilindros hidráulicos utilizados em elevadores.



Figura 7 – Cilindros hidráulicos [7]

Com uma implantação residual, sobretudo em equipamentos mais antigos, podemos encontrar outros sistemas como tambor de enrolamento, cremalheira ou até contrapeso de água, como o funicular de Braga (o único no mundo ainda em funcionamento) Figura 8.



Figura 8 - Funicular Bom Jesus de Braga, [11].

Estes sistemas de acionamento alternativos possuem algumas diferenças entre si. O sistema electro-hidráulico é menos eficiente do ponto de vista energético, mas mais simples de controlar numa situação de falha energética. Devido a restrições impostas pelas certificações energéticas dos edifícios, os elevadores de acionamento eletromecânico têm vindo gradualmente a ganhar terreno, relativamente aos de acionamento hidráulico, sobretudo em edifícios públicos e de habitação.

No entanto, as diversas empresas que fabricam os equipamentos hidráulicos têm procurado inovações tecnológicas de modo a reduzir consumos, reduzir os custos iniciais destes equipamentos e redução da "pegada ecológica" provocada sobretudo

pela necessidade da presença do óleo hidráulico e da sua substituição em intervalos de tempo regulares.

Na Figura 9 mostra-se uma imagem do ciclo de vida de um produto segundo a norma ISO 14001. Esta técnica pretende avaliar os impactos ambientais associados a todas as fases da vida de um produto.



Figura 9- LCA (ISO standard 14040:2006) [8]

Importa ter presente que esta "pegada ecológica" do equipamento abrange todo o ciclo com origem na obtenção das matérias-primas até ao fim da reciclagem do equipamento e não apenas o restrito tempo de vida útil (funcionamento) do elevador.

Na realidade, analisando o ciclo de vida completo, evidenciam-se dois conjuntos de pontos de impacto para os elevadores hidráulicos (Modelo 1) e outro para os elevadores elétricos (Modelo 2), conforme se pode verificar na Figura 10, relativos ao fabrico, tempo de vida útil e reciclagem adequada dos materiais.

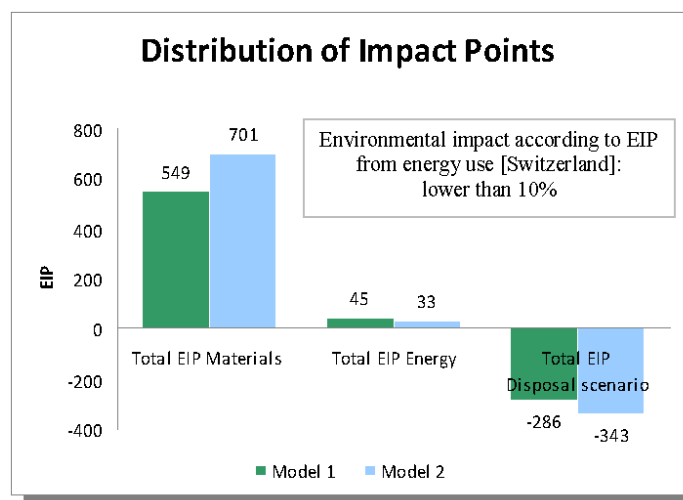


Figura 10 - Distribuição dos pontos de impacto para o Modelo 1 (elev. hidráulico) e Modelo 2 (elev. elétrico) [15]

O elevador eletromecânico (Modelo 2) tem mais pontos de impacto no fabrico na instalação e na reciclagem por força de um desenho e montagem mais complexos, devido ao contrapeso e a uma utilização superior de eletrónica de potência (variadores de frequência).

Durante a sua vida útil, o elevador electro-hidráulico (Modelo 1) tem mais pontos de impacto, que se refletem num consumo de energia global ligeiramente superior. Para o consumidor este é o fator mais importante, uma vez que o custo energético (pagar a conta da eletricidade) é suportado por este.

De referir que o elevador electro-hidráulico tem um consumo muito inferior em "stand-by", sobretudo devido a ausência do variador de frequência, só consome energia na subida (a descida é por ação da gravidade), mas para efetuar a subida é necessária uma potência elétrica na instalação superior.

O que a Avaliação do Ciclo de Vida evidencia, depois de uma análise detalhada, é que a sustentabilidade global dos elevadores electro-hidráulicos é superior aos de acionamento eletromecânico, porque o impacto ambiental dos processos de fabrico e instalação são muito superiores ao impacto resultante da energia utilizada durante as respetivas vidas úteis de operação.

Também, a necessidade de criar acessibilidades para pessoas com limitações físicas em edifícios públicos antigos ou mesmo habitações particulares obrigam muitas vezes a instalar um elevador num espaço muito limitado, originalmente não preparado para o efeito, o que exige soluções técnicas diferentes das "desejáveis", com recurso a soluções hidráulicas, onde não é possível instalar um equipamento elétrico adequado.

Algumas vantagens dos elevadores electro-hidráulicos relativamente aos eletromecânicos são:

- Montagem mais simples;
- Menor carga sobre a estrutura dos edifícios;
- Tecnologia "aberta" o que implica um custo de manutenção mais baixo, uma vez que qualquer empresa credenciada pode prestar a manutenção com consumíveis correntes, facilmente disponíveis no mercado;
- Ausência de cargas suspensas, o que reduz substancialmente os riscos de acidente no caso de um sismo;
- Consumo em "stand-by" cerca de 35% inferior a um elétrico-mecânico [15];
- "Pegada ecológica" global 27% inferior, apesar do consumo energético durante o funcionamento normal (tempo de vida útil) ser superior [15];
- Facilmente adaptável a situações arquitetónicas de elevada exigência, com muito reduzido extra-curso superior, cabinas totalmente panorâmicas, acessos a 90º ou acessos combinados a 90º e 180º;
- Dimensões de caixa reduzidas;

- Custo inicial do elevador substancialmente inferior.

Mas é sobretudo nos elevadores de maior capacidade de carga, superior a 1600 kg e velocidades abaixo de 1 m/s, e curso relativamente reduzido, até 18 m, que a aplicação dos sistemas electro-hidráulicos ganha vantagens competitivas relativamente aos seus concorrentes eletromecânicos.

1.1.2 Homelift modelo GRUPNOR®

O elevador *homelift* da empresa GRUPNOR® é de acionamento electro-hidráulico. O acionamento será do tipo direto lateral com um cilindro telescópico de 2 elementos, se o curso for inferior ou igual a 3,5 m. Se o curso da instalação for superior a 3,5 m, o acionamento passa a ser indireto lateral 2:1, como representado anteriormente na Figura 5.

A cabina deste equipamento é fixa a uma arcada em consola, Figura 11. Esta arcada exerce cargas laterais consideráveis nas guias devido ao binário de forças gerado pelo descentramento da cabine, pela geometria e peso total resultante da capacidade, peso da cabina, arcada e porta.

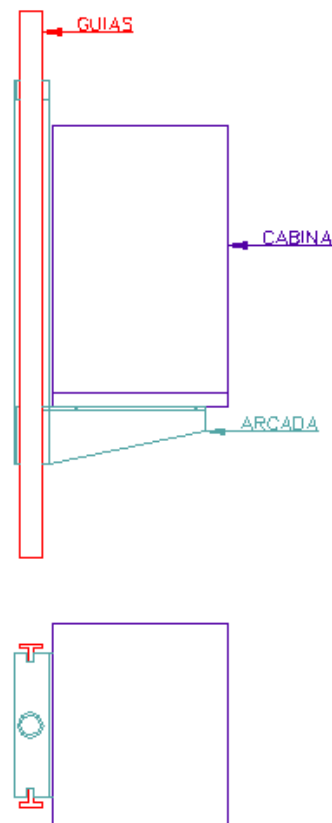


Figura 11 – Pormenor do posicionamento da arcada

A arcada está ligada ao cilindro através de cabos de suspensão, no caso de acionamento lateral indireto. No acionamento lateral direto, conforme o nome indica, o cilindro é acoplado diretamente à arcada.

A ligação entre o cilindro e a central hidráulica é feita por uma mangueira flexível. Entre a mangueira flexível e o cilindro é aplicada uma válvula de segurança, que atua em caso de rutura da mangueira, Figura 12.

A utilização desta válvula é obrigatória por lei, para sistemas de elevação hidráulicos e prende-se com questões de segurança para prevenir danos maiores em caso de rutura da mangueira.

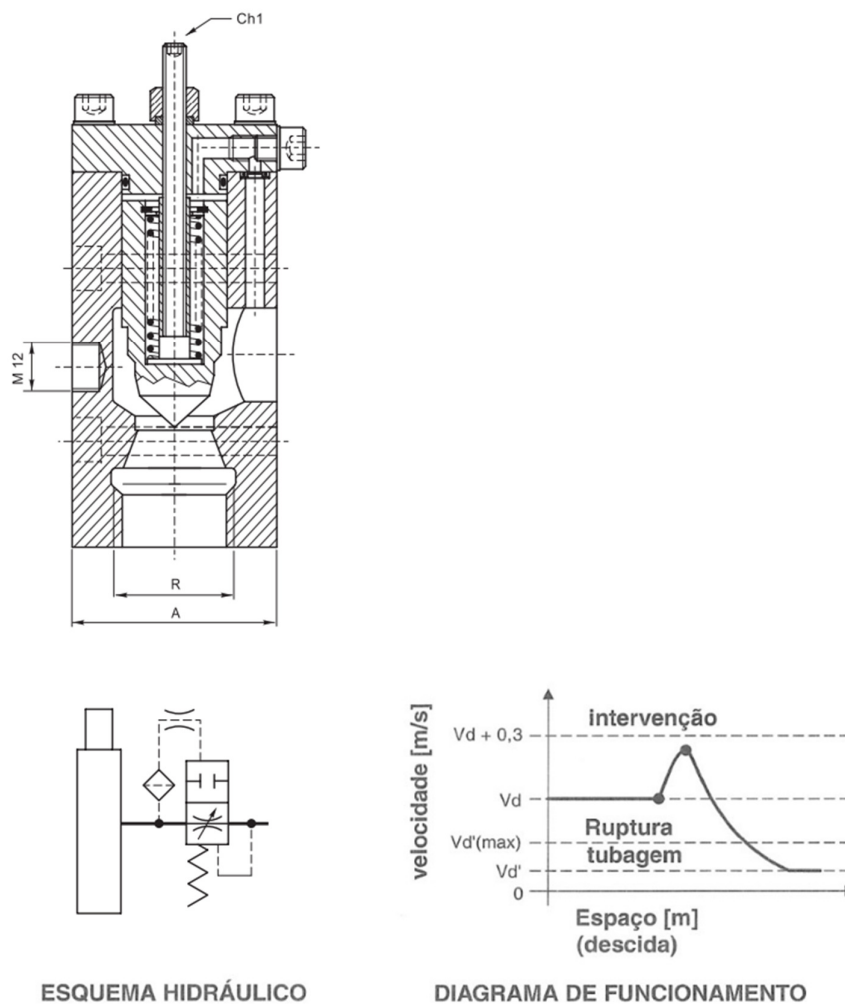


Figura 12 – Válvula de segurança, que atua em caso de rutura, [3].

O princípio de funcionamento da válvula de segurança está ligado à diferença de pressões. Existindo uma diferença de pressão significativa entre a entrada e saída

da válvula, decorrente de um grande caudal a passar por ela, que é o caso de rutura da mangueira, esta fecha-se.

Além da válvula de rutura aplicada no cilindro, quando o acionamento é lateral indireto, são instalados dispositivos de paraquedas que atuam em caso de rutura de cabos. O tipo de paraquedas e o modo de atuação dos mesmos está definido da norma (EN81-41:2010).

Para guiar o movimento da arcada e cabina, são utilizados perfis em formato T, como é ilustrado na Figura 26. Estes perfis em T, designados por guias, são fixos ao edifício ou à estrutura autoportante por intermédio de esquadros. Por sua vez, estes esquadros possuem rasgos de afinação para um preciso alinhamento vertical das guias.

As guias utilizadas no *homelift* da GRUPNOR[®] são as mesmas utilizadas nos elevadores convencionais, por uma questão de standardização de produtos. Assim estas são calculadas de acordo com a norma EN81-2:1998.

A cabina, sendo fabricada inteiramente na GRUPNOR[®], pode ser personalizada de acordo com as pretensões do cliente podendo este optar por painéis em aço inoxidável, vidro laminado, espelho entre outros. Definidos os acabamentos da cabina, é calculada a massa da mesma para considerar nos cálculos estruturais.

Na Figura 13 pode ver-se uma proposta de interior de uma cabina para *homelift* da GRUPNOR[®]. Estas cabinas são oferecidas até uma dimensão máxima de 1,1x1,4 m² sendo que a capacidade de carga mínima deste tipo de aparelhos de elevação é de 2500 N/m².

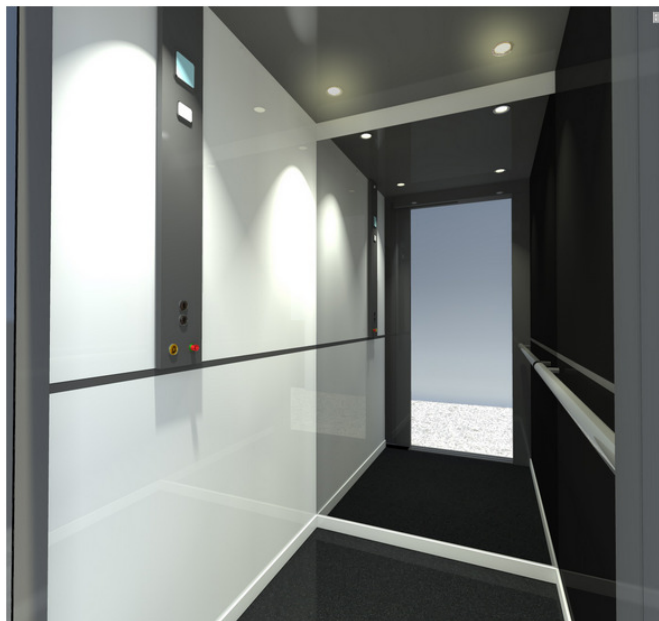


Figura 13 – Cabina modelo Hline da GRUPNOR[®] [9]

1.2 Objetivos

Neste trabalho irá ser feita uma análise à estrutura autoportante de elevadores do tipo *homelift* da GRUPNOR®. Este tipo de elevadores são usualmente aplicados em moradias de grandes dimensões ou edifícios antigos. Para a sua instalação, pode ser utilizado uma estrutura em betão ou alvenaria realizada no edifício, ou em alternativa a GRUPNOR® oferece uma estrutura exterior metálica para suporte das guias e portas e eventual cobertura do espaço. Esta estrutura, designada de estrutura autoportante, é fixa ao chão, numa parede ou nas lajes dos pisos. Normalmente, em edifícios construídos de raiz, quando se pretende incluir um elevador, o projetista contempla um fosso com dimensões adequadas para a instalação do mesmo.

A empresa GRUPNOR® fabrica e comercializa elevadores do tipo *homelift*, com ou sem estrutura de suporte das guias. No âmbito desta tese de mestrado, foi realizado um trabalho de engenharia inversa, onde uma estrutura já utilizada e comercializada foi analisada na sua resistência e rigidez. Pretendeu-se determinar os valores de carga envolvidos e a reserva de segurança de cada elemento constituinte, com o intuito de verificar o desempenho estrutural da mesma.

1.3 Organização da dissertação

A presente dissertação está estruturada da seguinte forma:

No capítulo 1 são introduzidos os temas abordados. São descritos os principais sistemas de elevação para pessoas e são expostos os objetivos deste trabalho.

No capítulo seguinte, 2, é feita uma revisão bibliográfica, neste caso, uma análise da estrutura autoportante alvo de estudo e ainda uma breve pesquisa de estruturas com a mesma finalidade comercializadas por empresas concorrentes. Ainda neste capítulo é analisado o tratamento de perfis enformados a frio dado que este é o principal processo de fabrico desta estrutura autoportante.

O capítulo 3 é o capítulo alvo deste trabalho. Aqui serão descritas e calculadas as principais forças envolvidas no normal funcionamento do *homelift* e é feita uma análise e cálculo das forças envolvidas durante a atuação do paraquedas. Neste capítulo é também, calculada a encurvadura dos perfis, simulada numericamente a estrutura e ainda realizados ensaios em laboratório/oficina da encurvadura dos pilares da estrutura.

No último capítulo, o 4º, são reunidas as principais conclusões.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

- 2.1 Estruturas de elevadores do tipo *homelift*
- 2.2 Estrutura de elevador do tipo *homelift* da GRUPNOR®
- 2.3 Tratamento dos enformados a frio pelo Eurocódigo 3

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será feita uma breve pesquisa sobre os desenhos e materiais normalmente mais utilizados neste tipo de estrutura autoportante para *homelift*. A maior parte dos fabricantes opta por uma construção em aço sendo que alguns oferecem estruturas em alumínio. Nas estruturas autoportantes em aço são usualmente utilizados enformados a frio, com um desenho de secção transversal adequado a uma rápida e eficiente interligação dos perfis para a montagem da estrutura. Para a união destes perfis são utilizadas ligações aparafusadas. Os fabricantes que oferecem estruturas em alumínio usam perfis extrudidos.

Ainda neste capítulo, é feita uma descrição da estrutura fabricada pela GRUPNOR[®] e sendo esta estrutura fabricada em aço utilizando o processo de enformados a frio, este tema é também abordado neste capítulo.

2.1 Estruturas de elevadores do tipo *homelift*

Na Figura 14 é apresentada uma solução da empresa IGV[®], completamente em perfis de alumínio quer no revestimento quer na estrutura autoportante e portas. A principal vantagem deste tipo de perfis é não necessitarem de um tratamento superficial posterior e a facilidade com que se aplicam os painéis decorativos.



Figura 14 – Estrutura para *homelifts* da empresa IGV[®] [12]

A solução da empresa ENOR[®] para a estrutura autoportante dos *homelifts*, Figura 15, é muito similar à solução da GRUPNOR[®], ou seja, utiliza perfis enformados a frio pelas vantagens que confere na flexibilidade de diferentes soluções.

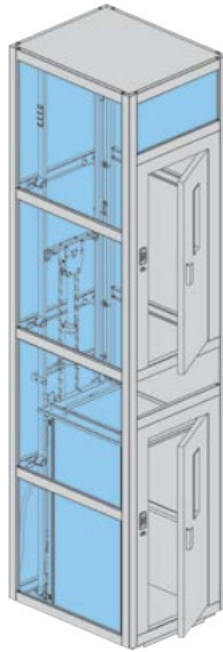


Figura 15 - Estrutura para *homelifts* da empresa ENOR[®] [13]

O fabricante SCHMITT+SOHN[®] apresenta também uma solução semelhante às já referidas para estrutura autoportante de *homelift*, na Figura 16 pode observar-se um produto deste fabricante onde são usados perfis adequados à utilização de painéis em vidro.



Figura 16 - Estrutura para *homelifts* da empresa SCHMITT+SOHN[®] [14]

2.2 Estrutura de elevador do tipo *homelift* da GRUPNOR®

A empresa GRUPNOR® produz e comercializa *homelifts*, fabricando estruturas autoportantes à medida do cliente e até 3 pisos (rés-do-chão mais 2). Para poder oferecer produtos à medida do cliente, possui um gabinete de projeto e uma linha de produção flexível aplicando enformados a frio de desenho próprio. Na Figura 17 pode observar-se um *homelift* e sua estrutura autoportante produzidos e comercializados pela GRUPNOR® que esteve em exposição na CONCRETA- Feira de Construção, Reabilitação, Arquitetura e Design em Novembro de 2015.

Esta estrutura autoportante é o foco deste trabalho, esta será analisada do ponto vista da sua resistência e estabilidade estrutural.



Figura 17 - Estrutura para *homelifts* da empresa GRUPNOR®

A análise estrutural que irá ser feita no capítulo 3 é convencional do ponto de vista da determinação das cargas para diferentes casos de carga, dos esforços nos elementos e das suas resistências seccionais, isto é, serão verificadas as resistências seccionais de cada perfil para os maiores esforços normais, cortantes e fletores.

No que respeita à resistência à encurvadura dos perfis sujeitos a grandes esforços normais, é preciso ter em conta não só a sua esbelteza mas também as suas características decorrentes do processo de fabrico. Neste caso, a opção da GRUPNOR®

é a utilização de enformados a frio pelas vantagens que confere na flexibilidade de diferentes combinações e potenciar ligações adequadas e resultados esteticamente agradáveis. A GRUPNOR[®] desenvolveu ao longo dos anos o seu próprio perfil, com o intuito de satisfazer os requisitos referidos. A secção do perfil atualmente utilizada pela GRUPNOR[®] em estruturas para *homelifts* é conforme se pode observar na Figura 18.

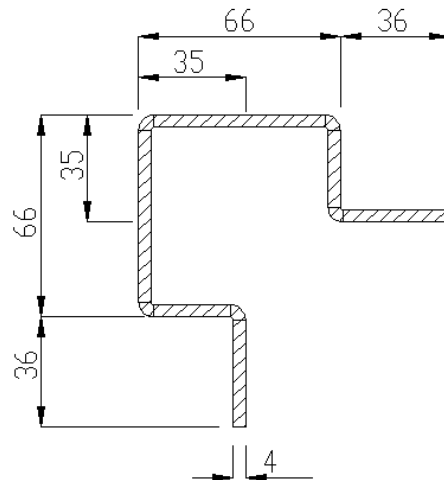


Figura 18 – Secção transversal do perfil utilizado pela GRUPNOR[®]

Pela natureza do processo de produção do enformado a frio que tipicamente resulta de quinagem de chapa previamente cortada nas medidas pretendidas, não é possível obter um perfil fechado único. Uma alternativa é a união de dois ou mais perfis por ligações aparafusadas, como se pode verificar na Figura 19. Esta solução é a utilizada pela GRUPNOR[®] em algumas zonas da estrutura e apenas para os pilares, como reforço local ou como elemento de ligação.



Figura 19 – Peça de ligação exterior dos pilares da estrutura autoportante

Na zona de união com as travessas, os pilares são também reforçados com a peça de ligação exterior. Esta solução está patente na Figura 20 e Figura 21, sendo indispensável para o aumento de rigidez local e contribuindo para a rigidez 'diagonal da estrutura'.

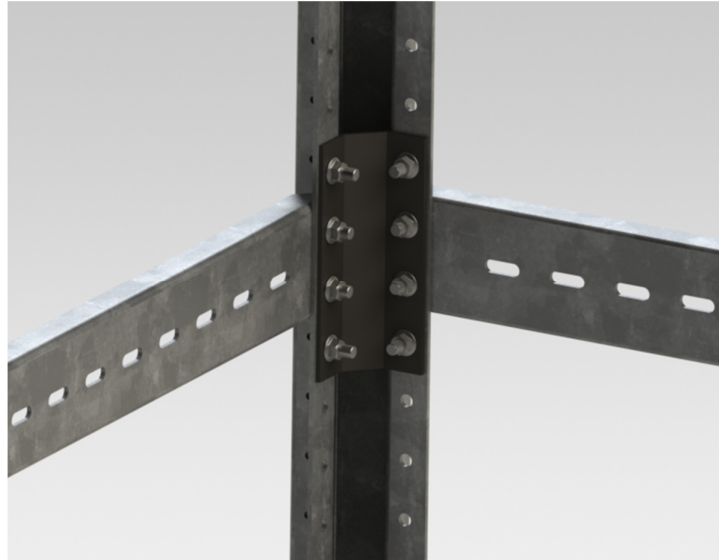


Figura 20 – Utilização da peça de ligação exterior na zona de união com as travessas.



Figura 21 – Localização das travessas na estrutura autoportante

Importa assim, analisar de forma cuidada o tratamento dos enformados a frio.

2.3 Tratamento dos enformados a frio pelo Eurocódigo 3

Os perfis enformados a frio apresentam algumas diferenças comparativamente aos usuais (laminados a quente), pelo que se justifica uma parte exclusiva nas normativas europeias para cálculo de estruturas, nomeadamente o Eurocódigo 3 (Parte 1.3) inteiramente dedicado ao seu dimensionamento – EC3, parte 1-3.

O estudo rigoroso destes elementos implica o seu tratamento como uma placa contínua dobrada. Esta abordagem resulta num cálculo demasiado complexo e/ou trabalhoso para aplicar na prática. Pelo que, no EC3 o seu tratamento é considerando-o um elemento formado por várias placas individuais com determinadas e convenientes condições de fronteira.

Nas zonas da dobragem (quinagem de uma chapa plana) as propriedades mecânicas do aço são alteradas, verificando-se o encruamento do aço nestas regiões, o que implica o aumento da tensão de cedência, sendo que a capacidade de deformação plástica restante fica a partir deste ponto reduzida.

De acordo com o ponto 3.2.2 do EC3 (Parte 1.3) pode-se considerar este aumento da tensão de cedência no dimensionamento das secções transversais, considerando uma tensão de cedência “média” (f_{ya}):

$$f_{ya} = f_{yb} + \frac{Knt^2}{A_g} (f_u - f_{yb})$$

desde que $f_{ya} \leq \frac{f_u + f_{yb}}{2}$, sendo n o número de dobras a 90°, $K=7$ para enformados a frio, t a espessura do material e A_g a área bruta da secção. No entanto, isto só é válido se a secção transversal é totalmente efetiva e o elemento não é sujeito a posteriores tratamentos térmicos. Caso contrário, deverá utilizar-se a tensão de cedência nominal do material (f_{yb}).

A esbelteza elevada dos elementos que compõem a secção transversal, por serem de parede muito fina, implica a possibilidade de ocorrência de fenómenos de encurvadura local, que têm de ser considerados explicitamente no dimensionamento deste tipo de secções. O EC3 (Parte 1.3) utiliza o método das secções efetivas para dimensionamento destes perfis, contemplando no cálculo a redução da resistência da secção devida à encurvadura local através de uma redução da dimensão de cada um dos elementos que constituem a secção transversal.

A esbelteza anteriormente referida também conduz a uma diminuição da rigidez à torção, já muito baixas por se tratarem geralmente de perfis com secções transversais abertas. Paralelamente, grande parte destes perfis não são simétricos, o que obriga a considerar momentos torsores secundários como consequência da excentricidade entre o eixo de ação das forças e o centro de corte. Para corrigir este

efeito, utilizam-se normalmente reforços a intervalos regulares ou continuamente ao longo do elemento.

Mas, mesmo assim, estes elementos podem sofrer um modo de encurvadura (encurvadura por distorção) quando sujeitos a flexão e/ ou compressão. Para esta situação, o EC3 (Parte 1.3) considera a redução de resistência da secção devido a este tipo de encurvadura através da redução da espessura do reforço.

De um modo geral, deverão ser seguidos os seguintes passos:

- Classificação das secções através do valor limite para a esbeltez (b/t) do elemento de acordo com o EC3 (Parte 1.1). Nos perfis enformados a frio, temos geralmente Classe 4 (secções cuja resistência é governada por fenómenos de encurvadura local e geral).
- Determinação das propriedades efetivas da secção transversal:

O cálculo da tensão elástica de encurvadura local é, de acordo com o EC3, baseado na teoria de placas e dado por:

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E K_\sigma}{12(1 - \nu^2)} \left(\frac{t}{b_{p,i}} \right)^2$$

Onde ν é o coeficiente de Poisson, K_σ o coeficiente de encurvadura da placa, t a sua espessura e $b_{p,i}$ a largura da placa i , considerando cantos retos.

No caso de um banzo exterior reforçado com um reforço simples, sendo b_p e $b_{p,c}$ as respetivas larguras, temos:

$$K_\sigma = \begin{cases} 0,5 & \leq \frac{b_{p,c}}{b_p} \leq 0,35 \\ 0,5 + 0,83 \sqrt{(b_{p,c}/b_p - 0,35)^2} & \leq 0,35 < \frac{b_{p,c}}{b_p} \leq 0,6 \end{cases}$$

Para outras disposições, K_σ é obtido Figura 23 consoante temos, respetivamente, elementos comprimidos simplesmente apoiados em ambos os bordos ou elementos comprimidos apoiados apenas num bordo (em consola).

O cálculo da tensão elástica de encurvadura distorcional é baseado na encurvadura por flexão do reforço. Assim, este comporta-se como um elemento comprimido, com restrição contínua parcial, podendo esta restrição ser simulada por uma mola dependente das condições de fronteira e da rigidez dos elementos adjacentes da secção transversal, conforme Figura 22 - Determinação da rigidez da mola Figura 22:

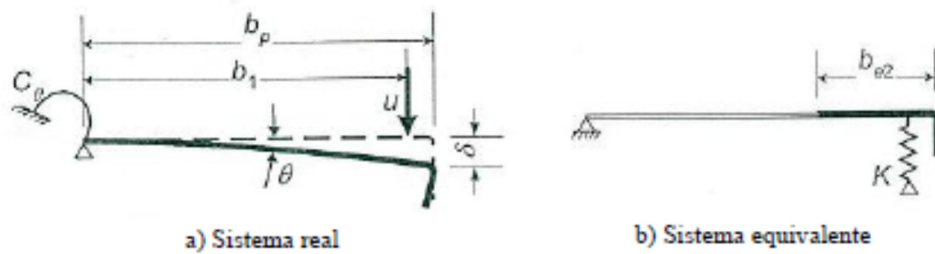


Figura 22 - Determinação da rigidez da mola[1] [5] EN 1993-1-3, Eurocódigo 3 – Parte 1-3

Com base neste modelo, a tensão de encurvadura distorcional é dada por:

$$\sigma_{Cr} = \frac{2\sqrt{KEI_z}}{A_s}$$

onde K é a rigidez da mola por unidade de comprimento e I_z o segundo momento de inércia efetivo do reforço, calculado com base na sua área efetiva, relativamente a um eixo que passa no seu centro de gravidade.

As propriedades efetivas da secção transversal são calculadas nas larguras efetivas de cada elemento constituinte da secção transversal, e na espessura efetiva do reforço comprimido. A largura efetiva do elemento i da secção transversal, $b_{eff,i}$ é dada por:

$$b_{eff,i} = \rho * b_{p,i}$$

com ρ o coeficiente de redução considerando o comportamento pós-encurvadura obtido de:

$$\bar{\lambda}_p \leq 0,63 \Rightarrow \rho = 1,0$$

$$\bar{\lambda}_p > 0,63 \Rightarrow \begin{cases} \rho = \frac{1 - 0,055(3 + \psi)/\bar{\lambda}_p}{\bar{\lambda}_p} \leq \textit{elementos internos} \\ \rho = \frac{1 - 0,188/\bar{\lambda}_p}{\bar{\lambda}} \leq \textit{elementos externos} \end{cases}$$

Com

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_{yb}}{\sigma_{Cr}}} \cong 1,052 \frac{b_p}{t} \sqrt{\frac{f_{yb}}{EK_\sigma}}$$

O coeficiente x_d (redução da espessura do reforço) é obtido a partir da sua esbelteza relativa $\bar{\lambda}_p = \sqrt{f_{yb}/\sigma_{Cr,s}}$, de acordo com:

$$\begin{cases} x_d = 1,0 & \bar{\lambda}_d \leq 0,65 \\ x_d = 1,47 - 0,723 * \bar{\lambda}_d & 0,65 < \bar{\lambda}_d < 1,38 \\ x_d = 0,66/\bar{\lambda}_d & \bar{\lambda}_d > 1,38 \end{cases}$$

A resistência da secção transversal é calculada tendo em conta os pressupostos anteriores, o que permite determinar as propriedades efetivas da secção; a resistência à encurvadura de cada elemento é efetuada separadamente para a compressão axial, flexão e flexão composta de acordo, respetivamente. Para esta sequência de cálculos de acordo com o EC3 podem seguir-se os algoritmos, propostos por GERVÁSIO, Helena; SIMÕES DA SILVA, Luís; SIMÃO, Pedro na referência [2]:

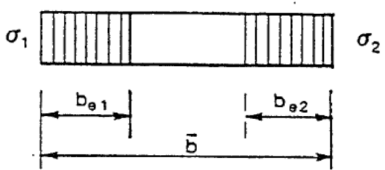
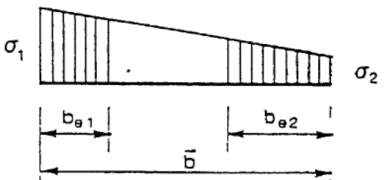
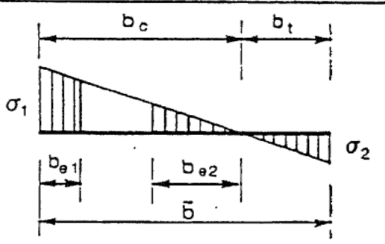
Quadro 5.3.2		Elementos internos comprimidos				
Distribuição de tensões (compressão positiva)		Largura efectiva b_{eff}				
		$\psi = 1 :$ $b_{eff} = \rho \bar{b}$ $b_{e1} = 0,5 b_{eff}$ $b_{e2} = 0,5 b_{eff}$				
		$1 > \psi \geq 0 :$ $b_{eff} = \rho \bar{b}$ $b_{e1} = \frac{2b_{eff}}{5 - \psi}$ $b_{e2} = b_{eff} - b_{e1}$				
		$\psi < 0 :$ $b_{eff} = \rho b_c = \rho \bar{b} / (1 - \psi)$ $b_{e1} = 0,4 b_{eff}$ $b_{e2} = 0,6 b_{eff}$				
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1	$-1 > \psi > -2$
Coeficiente k_σ de encurvadura	4,0	$\frac{8,2}{1,05 + \psi}$	7,81	$7,81 - 6,29\psi + 9,78\psi^2$	23,9	$5,98(1 - \psi)^2$
Alternativamente, para $1 \geq \psi \geq -1 :$ $k_\sigma = \frac{16}{[(1 + \psi)^2 + 0,112(1 - \psi)^2]^{0,5} + (1 + \psi)}$						

Figura 23 – Quadro 5.3.2 do EC3

DESENVOLVIMENTO

- 3.1 Cálculo das forças exercidas na estrutura
- 3.2 Cálculo analítico da encurvadura dos pilares
- 3.3 Simulação numérica
- 3.4 Ensaio realizado

3 DESENVOLVIMENTO (Análise estrutural ao desenho atual da estrutura do *homelift*)

Neste capítulo serão descritas e calculadas as principais forças envolvidas no normal funcionamento do *homelift* na sua maior versão, para 3 pisos. Estas forças são devidas ao peso da cabina e ocupantes, o seu guiamento e o conjunto de acionamento (cabos e cilindro hidráulico). Será também feita uma análise e cálculo das forças envolvidas durante a atuação do paraquedas

3.1 Cálculo das forças exercidas na estrutura

Na configuração de 3 pisos, a cabina é suspensa por sistema de acionamento indireto, cabos e cilindro hidráulico, conforme se verificou anteriormente na Figura 5 b). Como referido, esta configuração é necessária para promover uma maior capacidade de elevação com um cilindro de menores dimensões. Durante o funcionamento em condições normais, surgem forças nas guias devido á suspensão descentrada. A ligação entre a cabina e as guias é feita por uma estrutura designada de arcada, por sua vez as guias são fixas à estrutura autoportante.

Em caso de rutura dos cabos de suspensão, para evitar a queda da cabina, o *homelift* está equipado com um sistema de paraquedas. Este consiste num sistema mecânico fixo à arcada e de atuação automática quando os cabos perdem tensão, travando diretamente sobre as guias. Durante este evento durante um pequeno espaço de tempo a cabina fica solta e ganha alguma velocidade por efeito de aceleração da gravidade, o bloco de paraquedas (Figura 24) quando acionado promove uma desaceleração brusca.

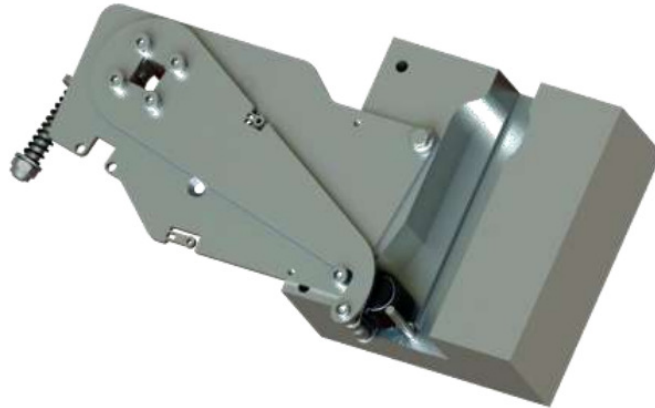


Figura 24 – Bloco de paraquedas instantâneo [16]

Durante o funcionamento normal do *homelift* as guias trabalham à flexão, devido ao cabo estar amarrado a um lado da arcada e não centrado com o centro de massa desta, conforme Figura 25. Se o bloco de paraquedas atuar, as guias para além de trabalharem à flexão ficam sujeitas à compressão, podendo ocorrer encurvadura. Para o cálculo das guias é utilizado um *software* recomendado pelo fornecedor, este contempla todos os esforços referidos, bem como o cumprimento das normas. Neste trabalho foi utilizado o *software* SaveraRIDE[®] da *Savera Elevator System Solutions*.

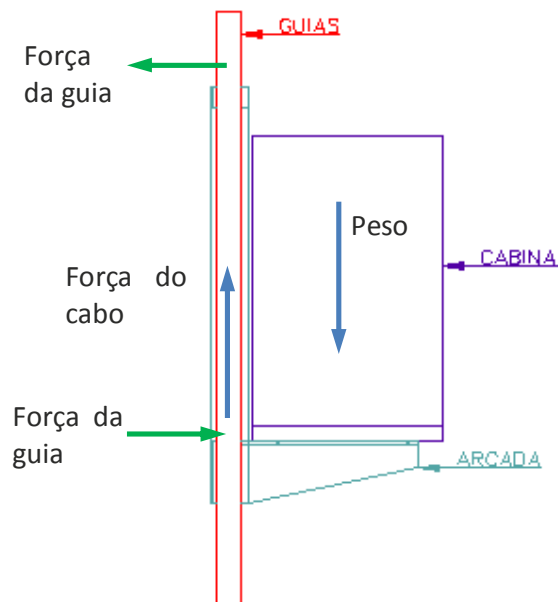


Figura 25 – Forças atuantes sobre a arcada

Como o descentramento entre o ponto de suspensão do cabo e o centro de gravidade da arcada é pequeno e, por sua vez, a distância entre roçadeiras é grande, a força lateral sobre as guias é pequena.

Numa eventual atuação do paraquedas as forças dinâmicas exercidas sobre as guias podem ser elevadas, dependendo do tempo de atuação do paraquedas. O *software* referido tem em conta estes parâmetros no cálculo da guia.

3.1.1 Cálculo das forças exercidas nas guias segundo a norma EN81-2:1998

Como referido anteriormente, a norma que rege este tipo de equipamentos é a EN81-41:2010, no entanto, no que diz respeito ao cálculo das guias esta remete para a EN81-2:1998 norma que rege os ascensores.

Para efetuar este cálculo, é necessário saber algumas características do *homelift* em causa.

Características principais do *homelift*:

- 3 pisos servidos
- 0,15 m/s velocidade nominal
- 1100x1400 mm (LxP) dimensões interiores da cabina
- Massa da cabina 340 kg
- Massa porta de cabina 80 kg
- Massa da arcada 120 kg
- Capacidade nominal 400 kg
- 1700x1900 mm (LxP) dimensões exteriores da estrutura

Cálculo das forças exercidas nas guias segundo a norma EN81-2 (ascensores hidráulicos) com a atuação do paraquedas:

$$F_x = \frac{k_1 * g_n * (Q * x_q + P * x_p)}{n * h}; \text{ em que:}$$

k_1 = coeficiente de impacto = 3

g_n = aceleração da gravidade = 9,81 m/s²

Q = capacidade nominal = 400 kg

$x_q = c + \frac{5}{8} * D_x = 16,5 + \frac{5}{8} * 110 = 85,25$ cm

P = massa suspensa (cabina + arcada + porta) = 540 kg

x_p = posição da massa da cabina em relação as coordenadas das guias = 72 cm

n = número de guias = 2

h = distância entre roçadeiras = 195 cm

Nas figuras que se seguem (Figura 26 e Figura 27) estão representadas as medições necessárias para efetuar o cálculo das forças exercidas nas guias.

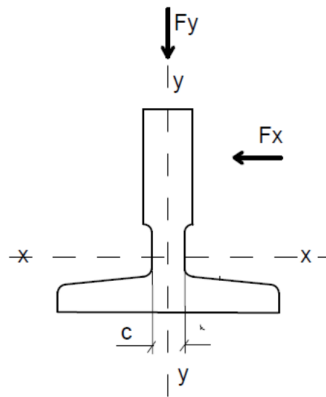


Figura 26 – Eixos das guias

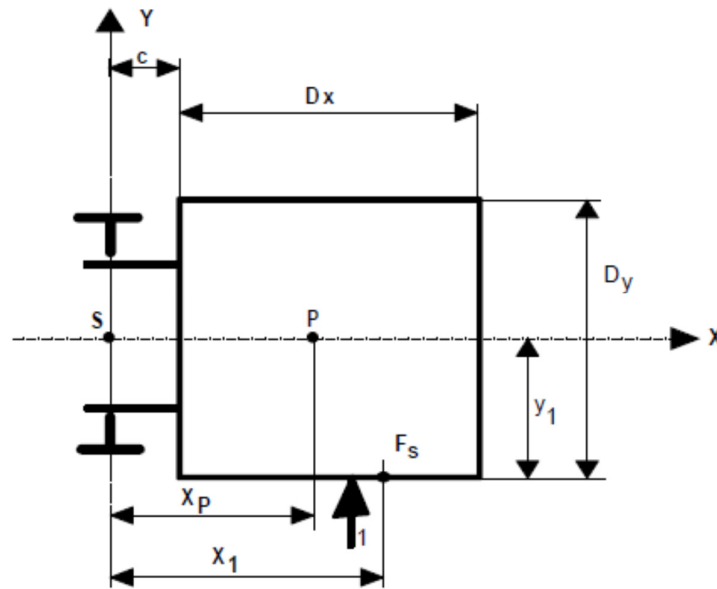


Figura 27 – Cabina em consola em relação às guias e a suspensão

$$F_x = \frac{3 * 9,81 * (400 * 85,25 + 540 * 72)}{2 * 195} = 5507 \text{ N}$$

Neste caso, de acordo com as características do equipamento, as cargas exercidas nas guias, quando é acionado o paraquedas, são de 5507 N.

3.1.2 Cálculo das forças exercidas nas guias segundo o *software* da Saverá®

Para o cálculo das forças nas guias foi também utilizado o *software* online da empresa Saverá®. Esta empresa fornecedora de guias é dominante no mercado e disponibiliza um *software* de cálculo aos seus clientes.

Os quadros que se mostram na Figura 28 são resultado da aplicação deste *software* de cálculo ao caso em estudo. O cálculo completo encontra-se em anexo.

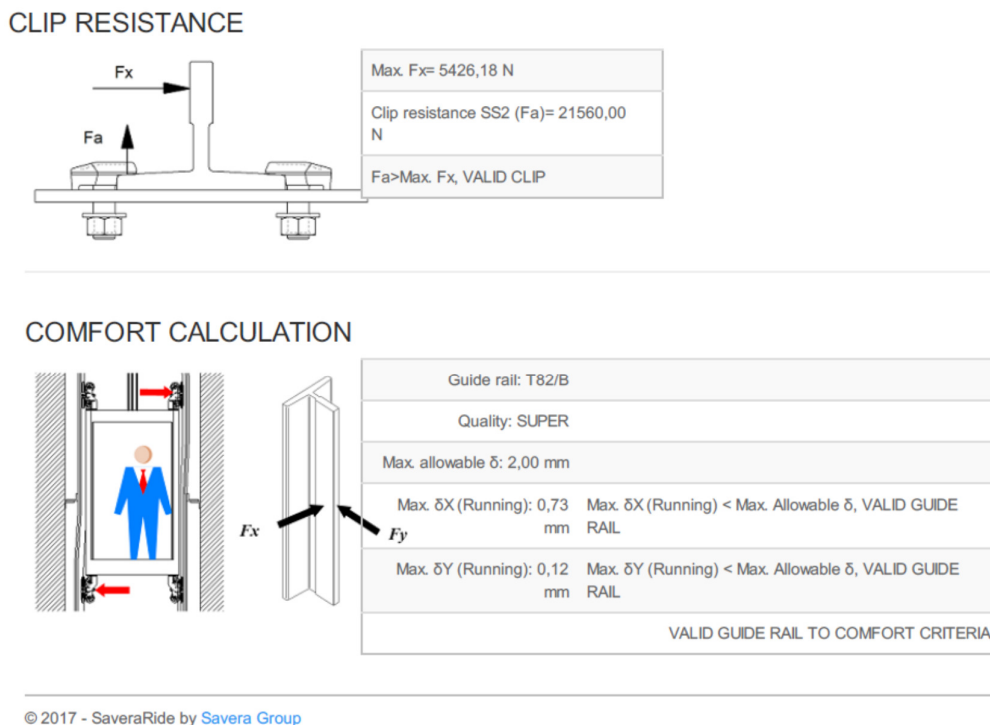


Figura 28 – Primeira página do resultado obtido no *software* da Saverá® [17]

3.2 Cálculo analítico da encurvadura dos pilares

Os pilares da estrutura são, tal como os restantes componentes da mesma, enformados a frio. A secção do perfil atualmente utilizada pela GRUPNOR® em estruturas para *homelifts* é de acordo com o que se pode observar nas Figuras 29 e 30. Estes enformados a frio são obtidos através de corte e quinagem e possuem um comprimento padrão de 2,3 m sendo que, na montagem da estrutura do *homelift* são aplicadas travessas de 1,15 em 1,15 m, pelo que serão estes os comprimentos de encurvadura considerados.

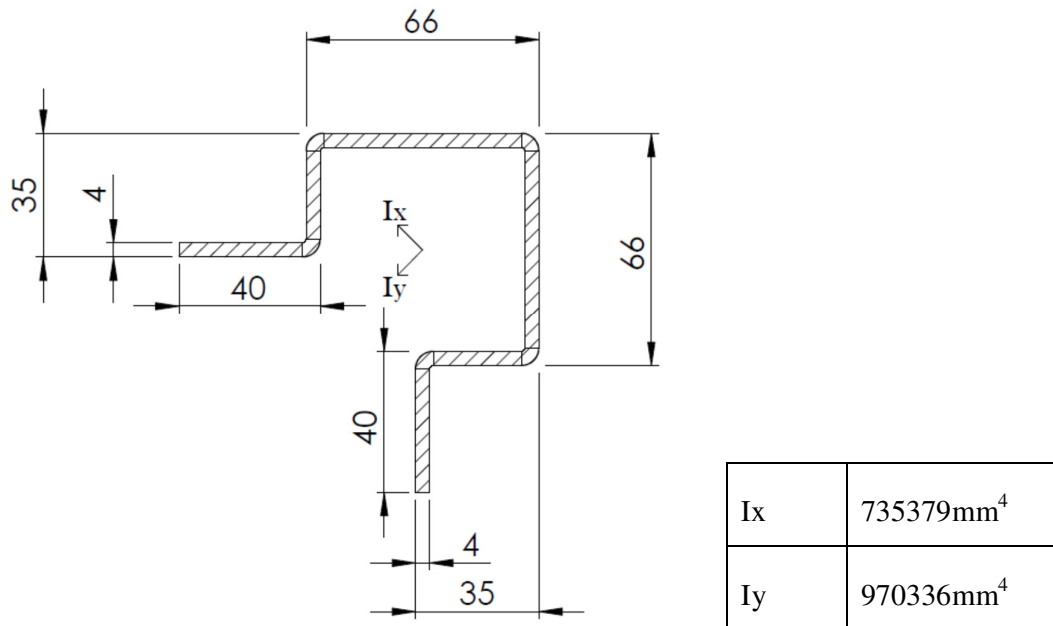


Figura 29 – Secção transversal do pilar utilizado na estrutura autoportante dos *homelift* GRUPNOR® e objeto de estudo neste trabalho.

O momento de inércia desta secção foi obtido com recurso ao *software* SolidWorks®.

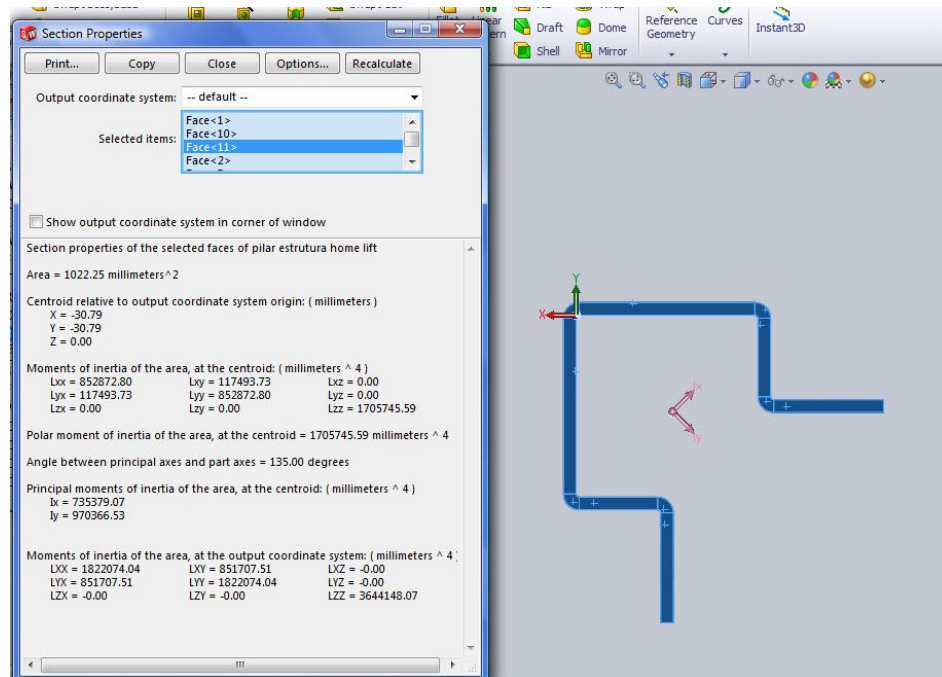


Figura 30 – Momentos de inércia do pilar da estrutura

Cálculo da carga crítica de Euler para os pilares da estrutura:

$$L=2,3 \text{ m}$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 * E * I_{min}}{L^2} = \frac{\pi^2 * (200 * 10^3) * (735379)}{(2,3 * 10^3)^2} = 274,4 \text{ kN}$$

$$L=1,15 \text{ m}$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 * (200 * 10^3) * (735379)}{(1,15 * 10^3)^2} = 1097,5 \text{ kN}$$

Estado limite ultimo de encurvadura por varejamento (REAE):

$$\sigma_{sd} = \frac{N_{sd}}{A * \gamma}$$

$$\lambda = \frac{L_e}{i_{min}}$$

$$i_{min} = \sqrt{\frac{I_{min}}{S}}$$

N_{sd} – esforço normal atuante

σ_{sd} – tensão instalada

A – area secção transversal

λ – coeficiente de encurvadura

$$L=2,3 \text{ m}$$

$$i_{min} = \sqrt{\frac{735379 * 10^{-12}}{1022,25 * 10^{-6}}} = 26,82 * 10^{-3} \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{2,3}{26,82 * 10^{-3}} = 85,74$$

$$\gamma = 1,1328 - (0,00664 * 85,74) = 0,5806$$

$$235 = \frac{N_{sd}}{1022,25 * 0,5806} \leftrightarrow N_{sd} = 139,476 \text{ kN}$$

$L=1,15$ m

$$\lambda = \frac{1,15}{26,82 * 10^{-3}} = 42,88$$

$$\gamma = 1,1328 - (0,00664 * 42,88) = 0,858$$

$$235 = \frac{N_{sd}}{1022,25 * 0,858} \leftrightarrow N_{sd} = 206,204 \text{ kN}$$

Como estamos a estudar um perfil aberto, este pode sofrer de instabilidade localizada, assim, a carga crítica de Euler obtida pode não corresponder à realidade.

Para tentar solucionar esta questão, dividiu-se o perfil em duas partes iguais com podemos observar nas Figuras 31 e 32 e calculou-se a carga crítica de Euler para esta metade. No final multiplica-se o valor obtido por dois. No entanto este procedimento conduz a uma carga crítica muito menor devido ao momento de inercia de parte do perfil ser muito menor do que o momento de inercia do perfil original, cerca de 20 vezes menor.

Assim, temos o momento de inercia do perfil dividido em 2 partes.

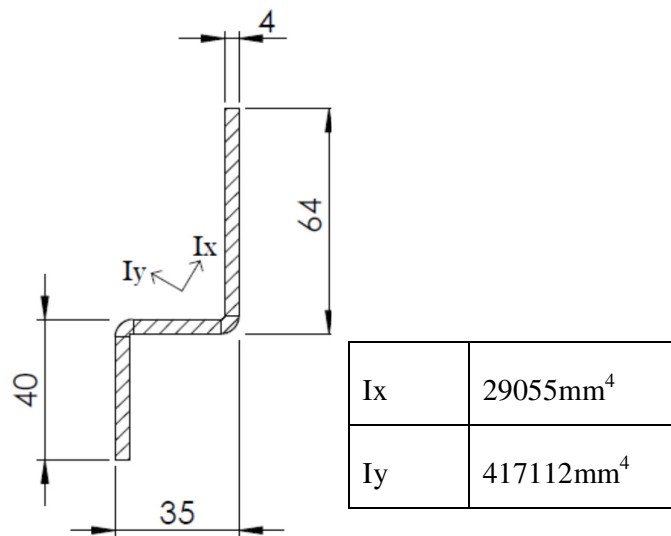


Figura 31 – Parte da secção transversal do pilar considerado para o cálculo à encurvadura.

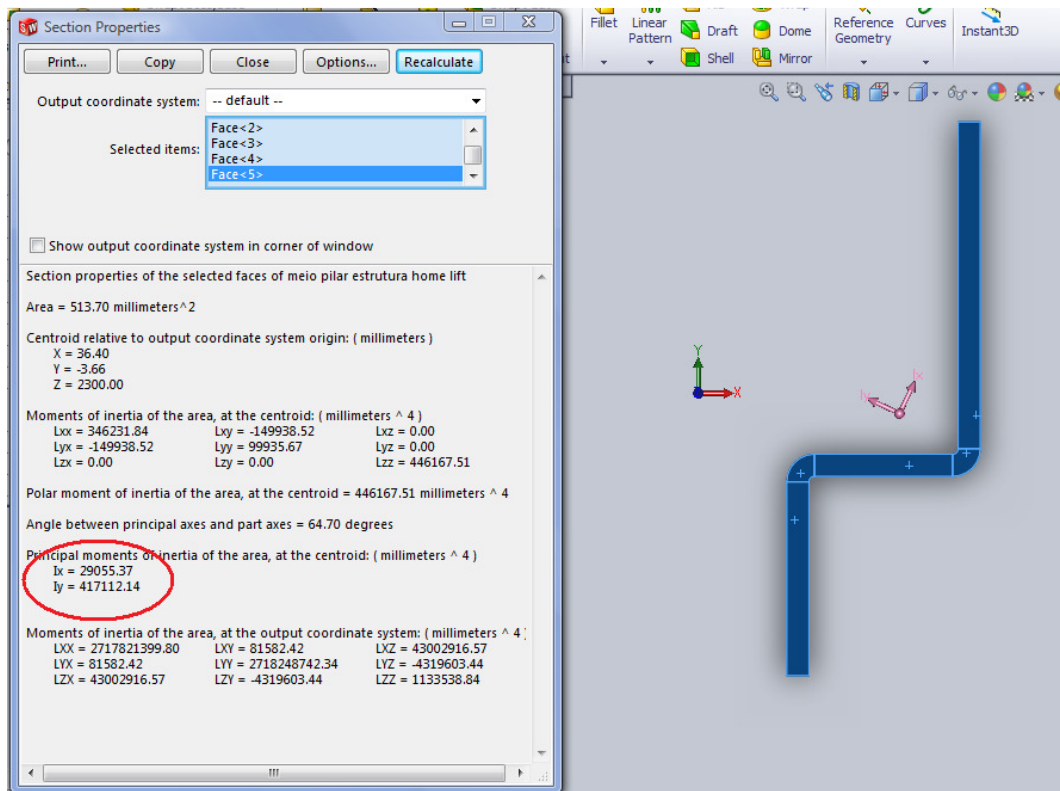


Figura 32 - Pilar da estrutura dividido ao meio.

Cálculo da carga crítica de Euler para os pilar da estrutura dividido:

$$L=2,3 \text{ m}$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 * E * I_{min}}{L^2} = \frac{\pi^2 * (200 * 10^3) * (29055)}{(2,3 * 10^3)^2} = 10,84 \text{ kN},$$

multiplicando por 2 temos 21,68 kN

$$L=1,15 \text{ m}$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 * (200 * 10^3) * (29055)}{(1,15 * 10^3)^2}$$

= 43,37 kN, multiplicando por 2 temos 86,73 kN

Estado limite último de encurvadura por varejamento:

$L=2,3$ m

$$i_{min} = \sqrt{\frac{2,905 * 10^{-8}}{513,7 * 10^{-6}}} = 7,52 * 10^{-3} \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{2,3}{7,52 * 10^{-3}} = 305,85$$

$$\gamma = \frac{4802}{(305,85)^2} = 0,051$$

$$235 = \frac{N_{sd}}{513,7 * 0,051} \leftrightarrow N_{sd} = 6,197 \text{ kN, multiplicando por 2 temos } 12,39 \text{ kN}$$

De acordo com o REAE, não são admissíveis valores de esbelteza superiores a 180. Assim sendo, este perfil não pode ser utilizado de forma isolada.

$L=1,15$ m

$$\lambda = \frac{1,15}{7,52 * 10^{-3}} = 152,9$$

$$\gamma = \frac{4802}{(152,9)^2} = 0,205$$

$$235 = \frac{N_{sd}}{513,7 * 0,205} \leftrightarrow N_{sd} = 24,75 \text{ kN, multiplicando por 2 temos } 49,49 \text{ kN}$$

Como pode ser observado nos valores acima encontrados, a carga crítica à encurvadura calculada de acordo com o Regulamento de Estruturas de Aço para Edifícios (REAE) é cerca de metade da carga crítica calculada pela fórmula de Euler. A metodologia aplicada para ter em conta a instabilidade localizada conduziu a valores de carga crítica cerca de 12 vezes menor. Por exemplo, para o comprimento de 2,3 m, a carga crítica calculada pelo REAE para a secção transversal completa foi de 139 kN. Utilizando a metodologia de dividir o perfil em 2 obteve-se uma carga crítica de 12,4 kN. Este valor é muito menor e se for tido em conta haverá uma grande reserva de segurança para a estrutura, no entanto como se verá a seguir é demasiado conservativo.

3.3 Simulação numérica

Foi realizada uma simulação numérica à totalidade da estrutura do *homelift* com recurso ao método dos elementos finitos – MEF, através do código comercial Multiframe®. Este código é capaz de analisar todos os elementos da estrutura e calcular os esforços atuantes nestes, assim como, a deformada da estrutura e o deslocamento nos nós. Porém, este software não é capaz de analisar as ligações aparafusadas, considerando as ligações entre diferentes elementos da estrutura (barras ou perfis) como rígidas. Este código aceita diferentes casos de carga possibilitando a aplicação de cargas concentradas, cargas distribuídas e momentos diretamente aplicados.

Com recurso ao *software* Multiframe® foram obtidas as tensões instaladas na estrutura do *homelift* completa com 7 (sete) casos de carga. Os casos de carga referidos são para diferentes posições da arcada. O caso de carga 1 é referente a arcada na posição inferior e o caso de carga 7 é referente a arcada na posição mais elevada.

Na Figura 33 (caso de carga 1) podemos observar a estrutura simulada assim como os apoios aplicados, as cargas aplicadas e o resultado das tensões e deformações instaladas.

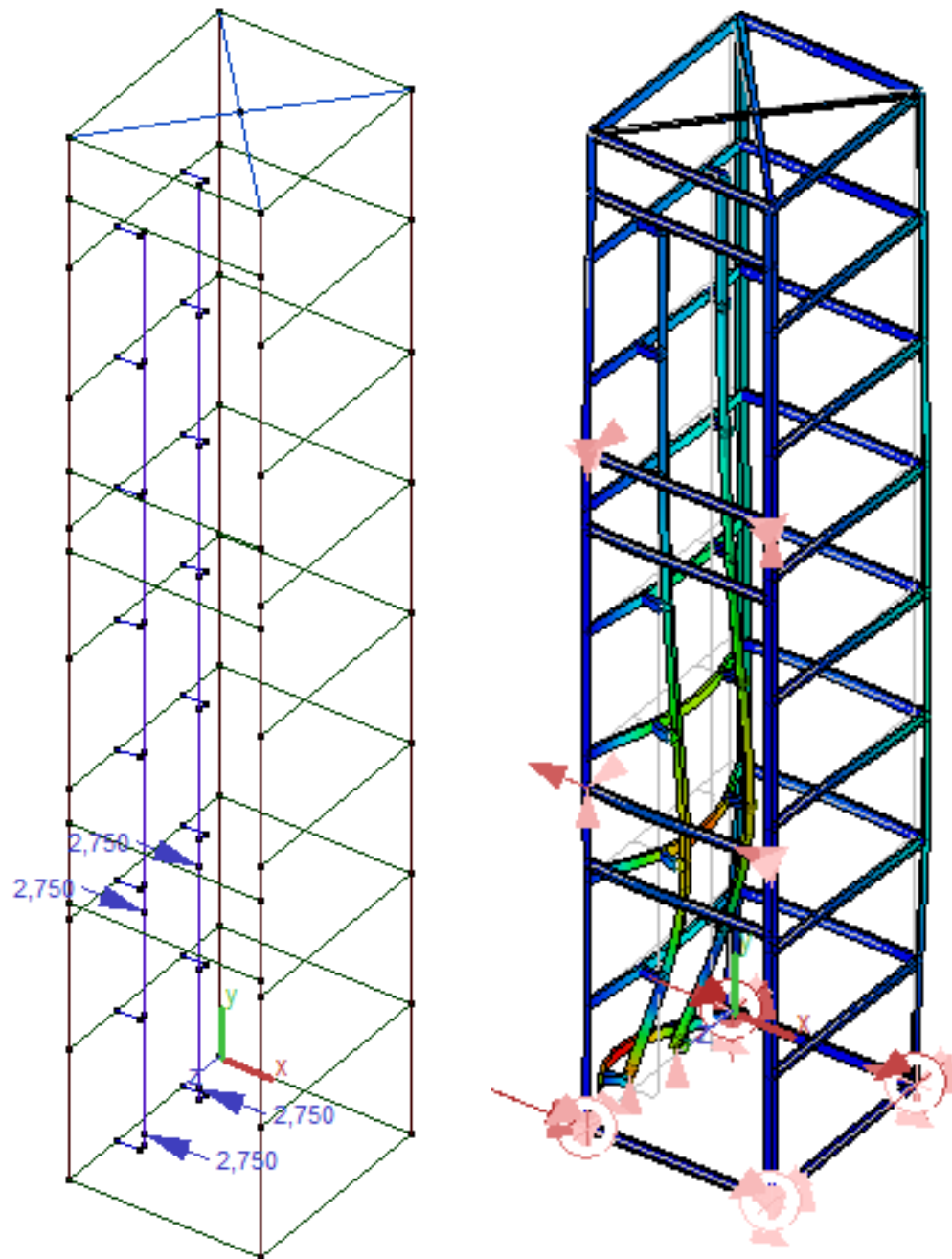


Figura 33 – À esquerda a estrutura com as cargas aplicadas (caso de carga 1) e à direita as respetivas deformações obtidas (caso de carga 1)

Por sua vez, na Figura 34, podemos observar a estrutura simulada para o caso de carga 7.

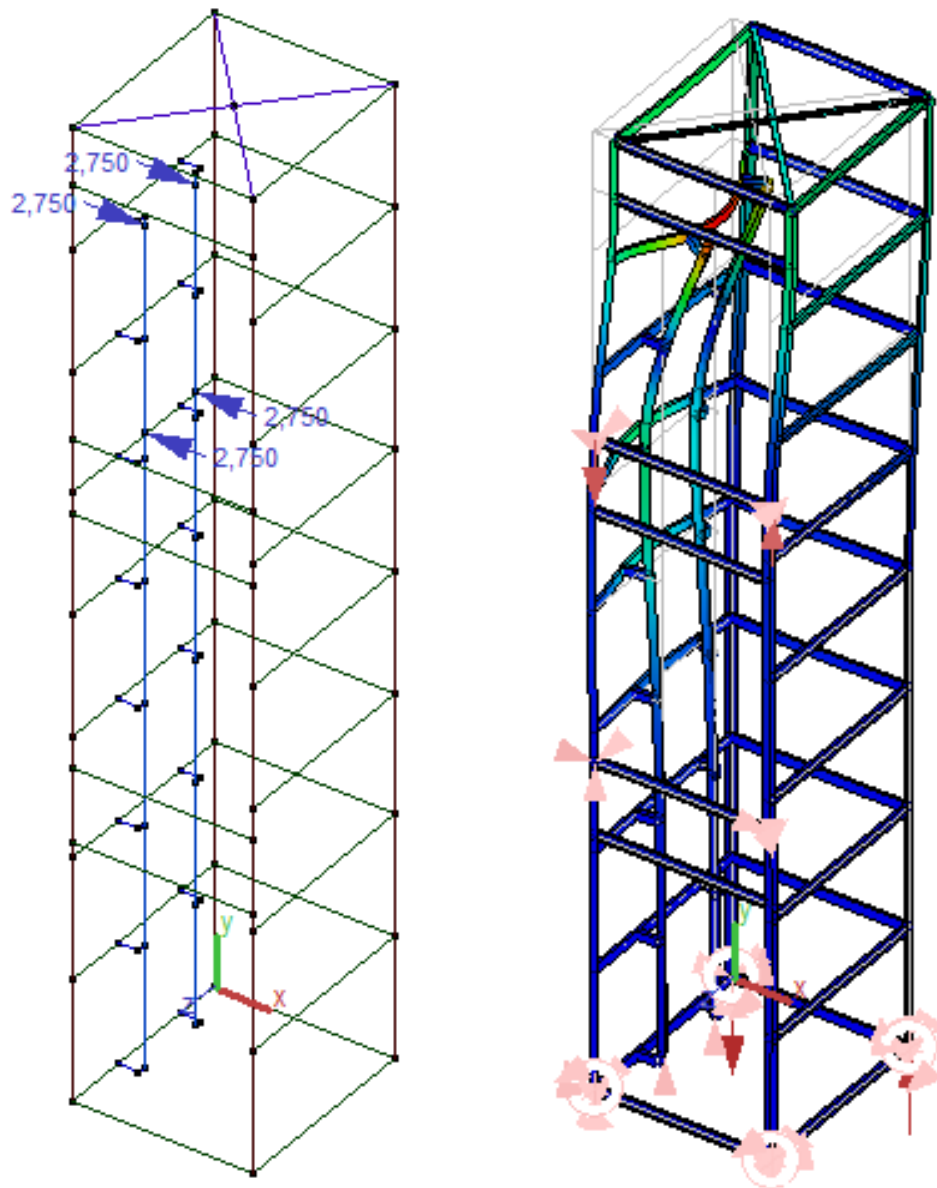


Figura 34 – À esquerda o caso de carga 7 e à direita os respectivos deslocamentos obtidos

As cargas utilizadas são as que resultam da aplicação das normas para a situação mais gravosa: quando o paraquedas atua sobre as guias.

Com recurso a este *software* foram obtidos os resultados para tensões combinadas dos 7 casos de carga simulados, obtendo os resultados expressos nos quadros da Tabela 1. Nesta tabela constam apenas as tensões nos 3 elementos da estrutura mais solicitados para cada um dos 7 casos de carga.

Tabela 1 - Tensões obtidas com a travessa inicial

Caso de carga 1		Caso de carga 2		Caso de carga 3	
Elem. N.º	Tensão (MPa)	Elem. N.º	Tensão (MPa)	Elem. N.º	Tensão (MPa)
5	550	25	275	28	248
3	485	51	238	59	220
28	278	49	234	58	208

Caso de carga 4		Caso de carga 5		Caso de carga 6	
Elem. N.º	Tensão (MPa)	Elem. N.º	Tensão (MPa)	Elem. N.º	Tensão (MPa)
74	225	49	225	59	250
49	210	51	210	71	235
76	207	74	207	94	231

Caso de carga 7	
Elem. N.º	Tensão (MPa)
104	518
102	450
76	306

Em todos os casos de carga os elementos mais solicitados são as travessas da estrutura.

O elemento mais solicitado é verificado no caso de carga 1, (elemento nº5).

Na Figura 35 é apresentada a secção da travessa da estrutura utilizada inicialmente.

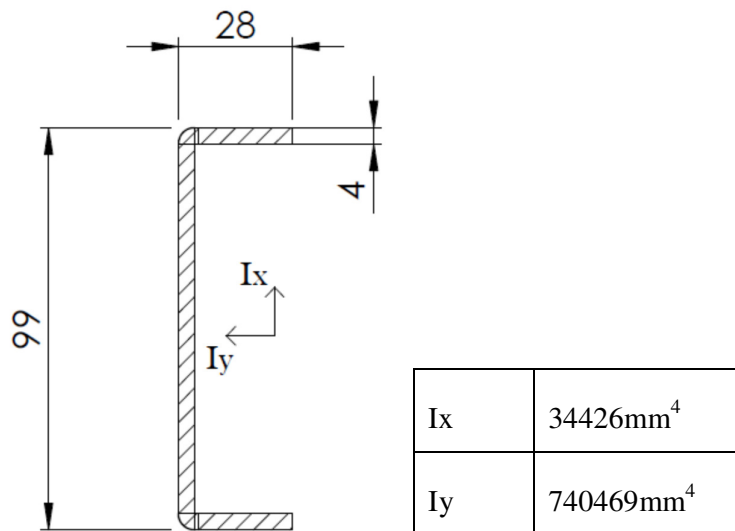


Figura 35 - Travessa da estrutura inicial

Como já referido, os diferentes casos de carga dizem respeito a diferentes pontos possíveis de acionamento do paraquedas. Sendo o caso de carga 1 a posição mais baixa e o caso 7 a posição mais alta.

Os resultados das tensões obtidas pelo Multiframe® constantes da tabela 1 são as tensões resultantes dos esforços combinados, esforço normal sobre o elemento e os esforços fletores em eixos perpendiculares da secção transversal do elemento.

Para avaliar a complexidade da estrutura e a necessidade de a calcular como um todo, a seguir efetua-se o cálculo das tensões instaladas no elemento mais solicitado do caso de carga número 1 como se este tivesse de suportar toda a carga resultante da ação do paraquedas (Figura 36).

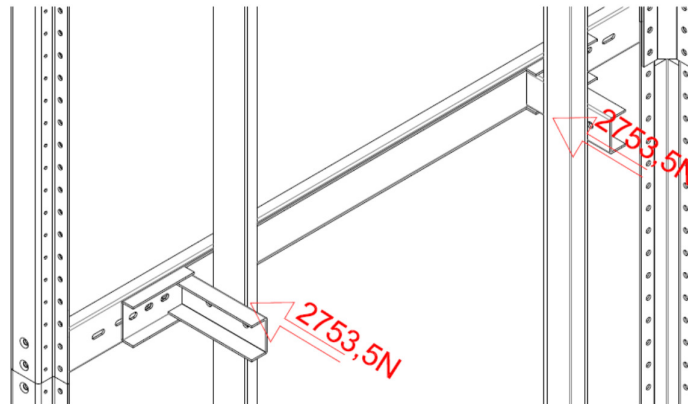


Figura 36 – Representação das cargas na travessa da estrutura autoportante

Na Figura 37, apresenta-se o diagrama de cargas da travessa como se fosse esta a única a suportar as cargas da cabina quando atua o paraquedas.



Figura 37 – Diagrama de cargas da travessa da estrutura

Considerando o diagrama de cargas descrito anteriormente e aplicando a teoria da flexão em vigas passa-se a calcular a tensão instalada.

Fórmula de cálculo da tensão instalada em viga sobre solicitação de flexão:

$$\sigma = \frac{M_f * Y_{\max}}{I_{xg}}$$

em que:

σ – tensão instalada

M_f – momento flector

Y_{\max} – distância ao eixo neutro

I_{xg} – momento de inércia

$$M_f = \frac{5507}{2} * 0,558 = 1,536 * 10^6 N.mm$$

$$Y_{\max} = h - Y = 28 - \left(\frac{91 * 4 * 2 + 28 * 4 * 14 + 28 * 4 * 14}{91 * 4 + 28 * 4 + 28 * 4} \right) = 21,42 \text{ mm}$$

$$I_x = I_{xg} + A * d^2 \leftrightarrow$$

$$\leftrightarrow \frac{91 * 4^3}{3} + \left(2 * \frac{4 * 28^3}{3} \right) = I_{xg} + ((99 * 28) - (91 * 24)) * 6,571^2 \leftrightarrow$$

$$\leftrightarrow I_{xg} = 35091 \text{ mm}^4$$

$$\sigma = \frac{1,536 * 10^6 * 21,4286}{35091} = 937 \text{ MPa}$$

Como se pode observar dos cálculos efetuados, as tensões instaladas no elemento número 5 são muito maiores quando se considera este como o único elemento a suportar a carga resultante da atuação do paraquedas. Este facto revela que a estrutura é complexa e responde como um todo. A tensão instalada no elemento número 5 calculada pelo Multiframe® é bastante inferior à obtida com a fórmula da flexão, isto deve-se ao fato de a estrutura distribuir os esforços pelos vários elementos.

Estes resultados levaram o autor a propor um reforço deste elemento: travessas. Desde a primeira hora desta constatação a empresa implementou esta alteração nas estruturas de *homelifts* vendidas e instaladas.

Como descrito anteriormente as travessas onde ocorrem as maiores tensões nomeadamente a tensão de cedência, foram redesenhadas para possuir um maior momento de inércia. O seu desenho pode ser visto na Figura 38.

Reforçando as travessas onde são fixas as guias que suportam o *homelift*, aumentando a aba de 28 mm para 45 mm, as tensões apresentam valores aceitáveis, logo esta alteração foi adotada. Estas travessas terão de ser fixas pelo interior do perfil para que a aba de 45 mm não fique saliente o que dificultaria a aplicação de um possível revestimento.

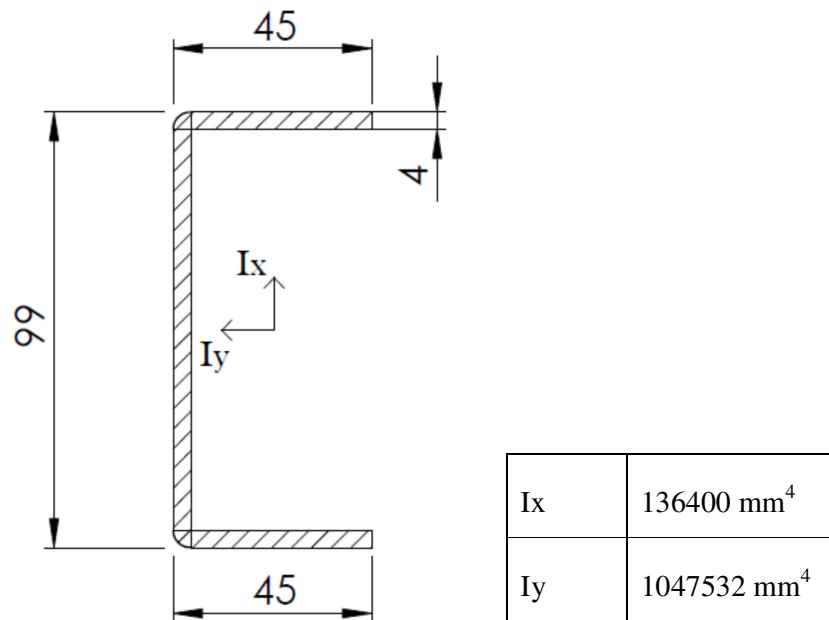


Figura 38 - Travessa da estrutura reforçada

Os quadros da Tabela 2 que se mostram a seguir apresentam os resultados de tensão instalada para os 7 casos de carga aplicados à estrutura com as novas travessas de 45 mm de largura.

Tabela 2 - Tensões obtidas com a travessa reforçada

Caso de carga 1	
Elem. N.º	Tensão (MPa)
5	250
3	219
28	125

Caso de carga 2	
Elem. N.º	Tensão (MPa)
25	146
51	117
49	100

Caso de carga 3	
Elem. N.º	Tensão (MPa)
28	129
59	91
58	89

Caso de carga 4	
Elem. N.º	Tensão (MPa)
74	102
49	108
76	77

Caso de carga 5	
Elem. N.º	Tensão (MPa)
49	90
51	98
74	117

Caso de carga 6	
Elem. N.º	Tensão (MPa)
59	111
71	128
94	119

Caso de carga 7	
Elem. N.º	Tensão (MPa)
104	213
102	177
76	142

Apesar de, no caso da carga 1, o elemento número 5 apresentar uma tensão instalada de 250 MPa (sendo que o material utilizado no fabrico da estrutura é o S 235), este valor foi aceite pois é extremamente improvável que o bloco de paraquedas atue na posição extrema inferior.

É sabido que o aço do tipo S 235 tem uma tensão de cedência mínima de 235 MPa, garantida pela norma a que se refere. No entanto, é verificado nos certificados que acompanham os lotes de chapa encomendadas, que na lista das propriedades mecânicas apenas muito raramente aparecem valores de tensão de cedência inferiores a 300 MPa. Mas, no caso de a travessa ceder plasticamente, facilmente é substituída por uma nova.

3.4 Ensaio realizado

Como referido anteriormente o cálculo utilizado para a verificação dos perfis que constituem os pilares à encurvadura, foi um cálculo aproximado, uma vez que são perfis abertos e que o seu comportamento à encurvadura pode ser de instabilidade global ou localizada. Nestes casos não é suficiente fazer a verificação da instabilidade global, utilizando o momento de inércia da secção transversal.

A verificação experimental da capacidade de carga dos pilares à encurvadura tornou-se uma necessidade. Para este efeito foram fabricados 3 perfis para serem solicitados experimentalmente e assim comparar com os cálculos analíticos efetuados no subcapítulo 3.2.

Para a realização dos ensaios foi necessário projetar e construir um dispositivo experimental para carregar os perfis e registar carga e deslocamento.

Para realizar este ensaio experimental foram considerados os valores de carga crítica calculados anteriormente, para assim, selecionar uma célula de carga e um dispositivo de aplicação de carga.

Foi selecionado um cilindro hidráulico da marca LARZEP, com capacidade de 220 kN e 220 mm de curso, Figura 39, para a aplicação de carga.

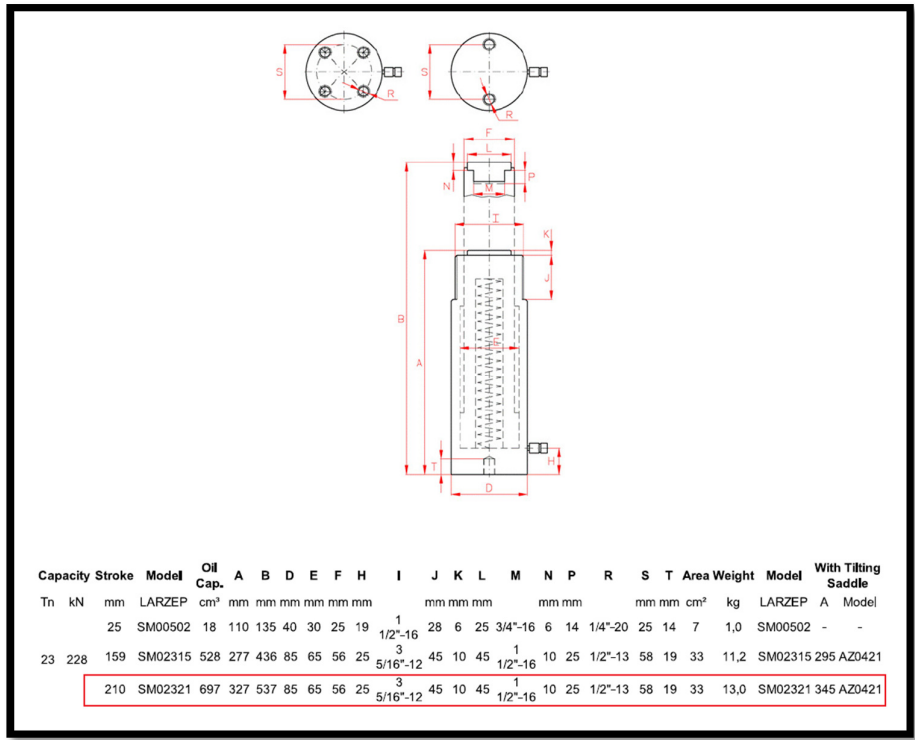


Figura 39 – Cilindro hidráulico LARZEP utilizado para mecanismo de ensaio

Foi também selecionada uma célula de carga com capacidade de 250 kN da marca HBM, modelo U10M, Figura 40.

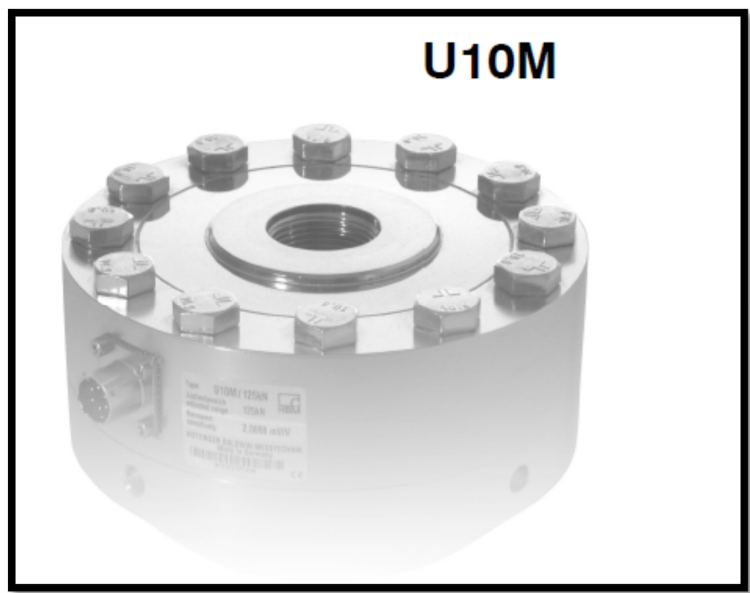


Figura 40 – Célula de carga HBM utilizada com capacidade até 250 kN

Para que durante a realização do ensaio experimental e para que quando o perfil seja comprimido, se garantir uma carga pontual apenas de compressão, sem que seja aplicada solicitação de flexão, a carga foi aplicada no centroide da secção transversal do pilar. Para o efeito foi calculado o centroide, conforme Figura 30, da secção transversal e simultaneamente foi projetado um acessório capaz de transmitir a carga nesse ponto, Figura 41.

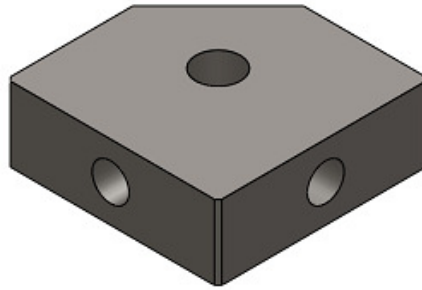


Figura 41 – Acessório para aplicar a carga no centroide do perfil.

Este acessório foi projetado de forma a poder ser fixo nas extremidades dos perfis e receber a carga através de um pino posicionado no centroide, Figura 42. Este pino foi materializado pela aplicação de um parafuso maquinado e fixo ao acessório. Este tipo de fixação comporta-se como uma rótula pois não é capaz de suportar momentos fletores.

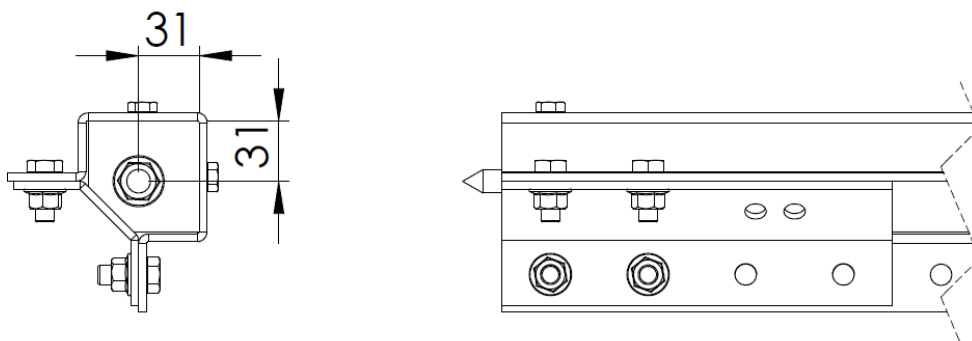


Figura 42 – Peça aplicada nas extremidades dos pilares com a posição da furação efetuada

Com o cilindro hidráulico e a célula de carga selecionados, foi desenhado e construído um dispositivo para o teste à encurvadura dos pilares conforme Figura 43. Este dispositivo foi desenvolvido com recurso ao *software* da SolidWorks® e fabricado posteriormente na empresa GRUPNOR®. A estrutura do equipamento consiste basicamente em duas placas ligadas por quatro perfis, para que a célula de carga seja suportada por uma das placas e o cilindro hidráulico pela placa oposta.

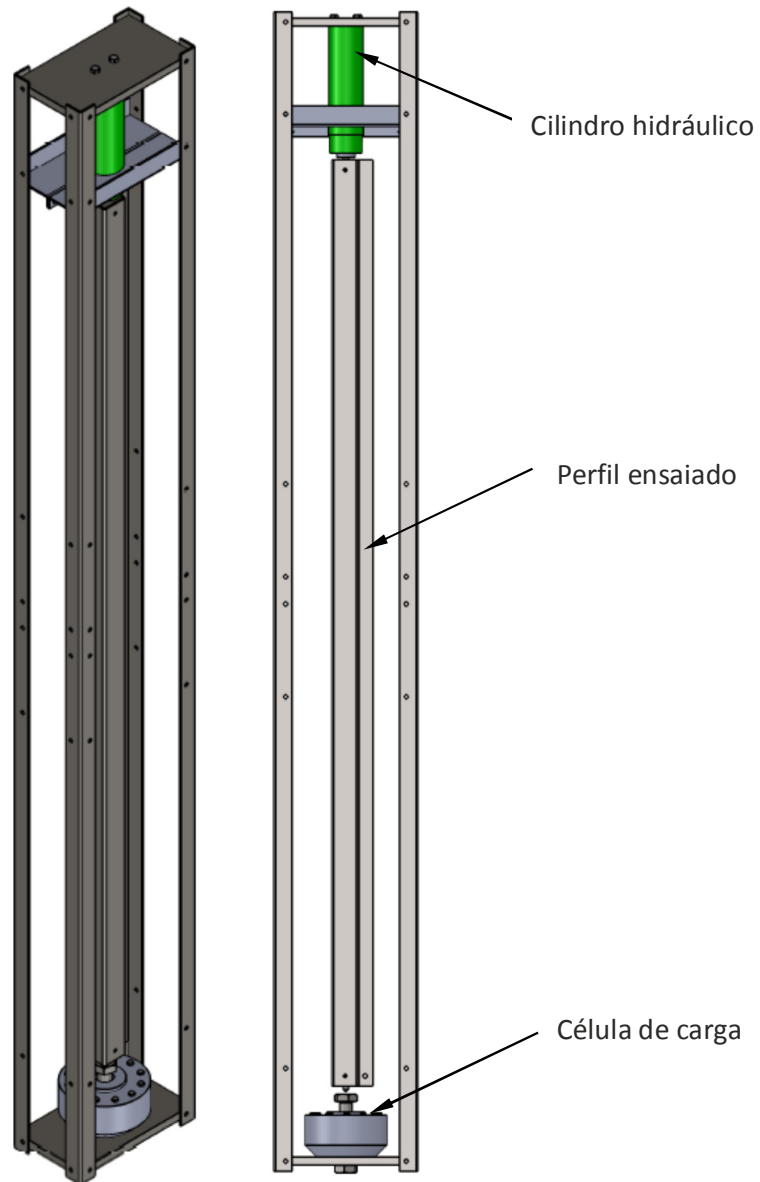
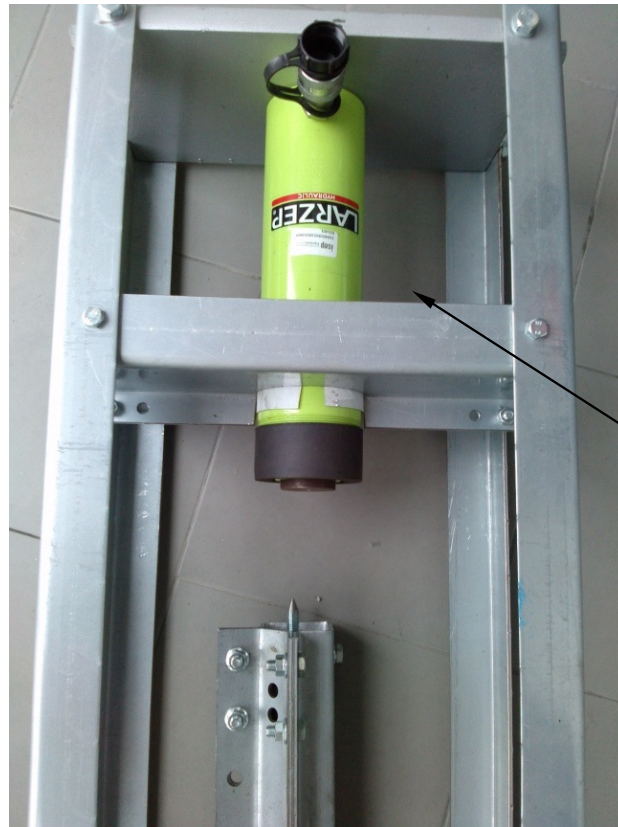


Figura 43 – Estrutura para ensaio à encurvadura do pilar.

3.4.1 Montagem do dispositivo para ensaios à encurvadura

O dispositivo foi montado nas instalações do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), nomeadamente no laboratório de tecnologia mecânica. O cilindro hidráulico foi fixo pelo seu topo à placa superior através de 2 parafusos, foi necessário ainda a inclusão de um suporte no seu extremo oposto para a sua estabilização, conforme a Figura 44.



Suporte de estabilização do cilindro hidráulico

Figura 44 – Fixação do cilindro à estrutura de ensaio

A célula de carga foi fixa à placa de base da estrutura, com recurso a um elemento roscado propositadamente projetado e construído para o efeito. Para receber a carga do pilar através do seu pino foi também necessário projetar e construir uma peça adequada para o efeito. Além dos dois elementos atrás referidos foi também necessário projetar um terceiro elemento (a aplicar na haste do cilindro hidráulico) para receber a carga do pilar, estes três elementos foram executados de acordo com a Figura 45.

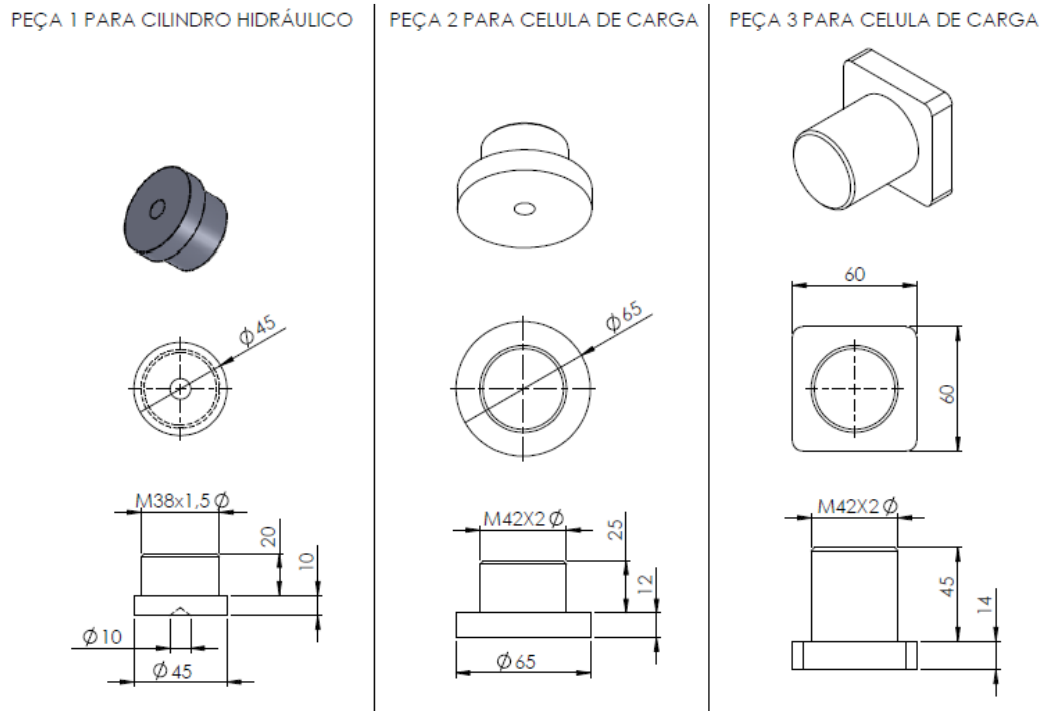


Figura 45 – Conjunto de elementos de fixação projetados para o dispositivo de ensaio

A montagem da célula de carga e dos acessórios anteriormente referidos, assim como um dos pilares ensaiados podem ser vistos na Figura 46.



Figura 46 – Pilar apoiado na célula de carga.

Na Figura 47, pode ser vista a bomba de marca LARZEP, para fornecimento de pressão hidráulica ao cilindro. Esta é de atuação manual por alavanca, de dois estágios, com pressão máxima de serviço de 700 bar. Esta foi posicionada junto à estrutura de ensaio.



Figura 47 - Bomba de marca LARZEP

Foi ainda necessário incluir no dispositivo um transdutor de deslocamento para a medição dos deslocamentos, obtendo informação necessária para traçar o gráfico carga vs deslocamento. Foi utilizado para o efeito um LVDT (*Linear Variable Differential Transformer*), este transdutor é um transdutor indutivo. Para a instalação do transdutor foi utilizada uma base magnética e o movimento do cilindro hidráulico foi medido através de uma pequena viga fixa no topo da haste do cilindro hidráulico conforme Figura 48.

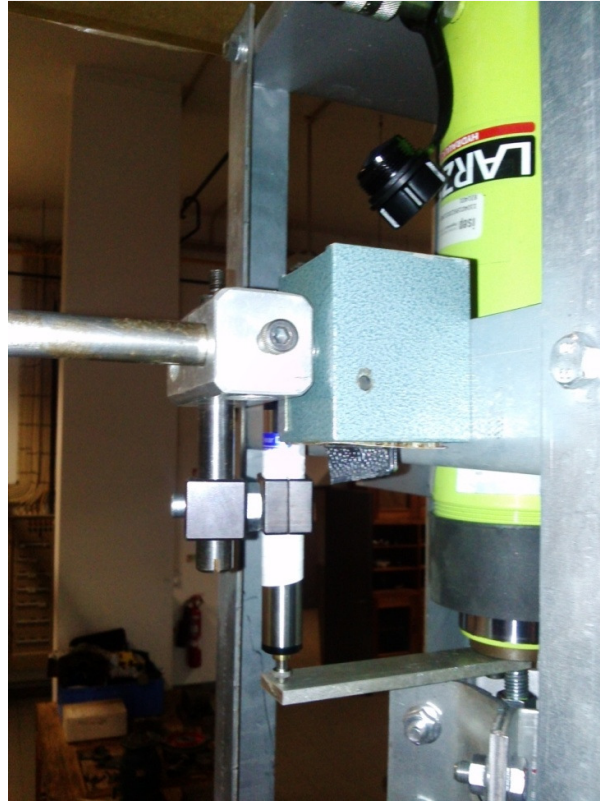


Figura 48 – LVDT utilizado para medir os deslocamentos durante os ensaios

A célula de carga e o transdutor de deslocamentos foram alimentados pelo condicionador de sinal da marca VISHAY modelo P3 de acordo com a Figura 49.

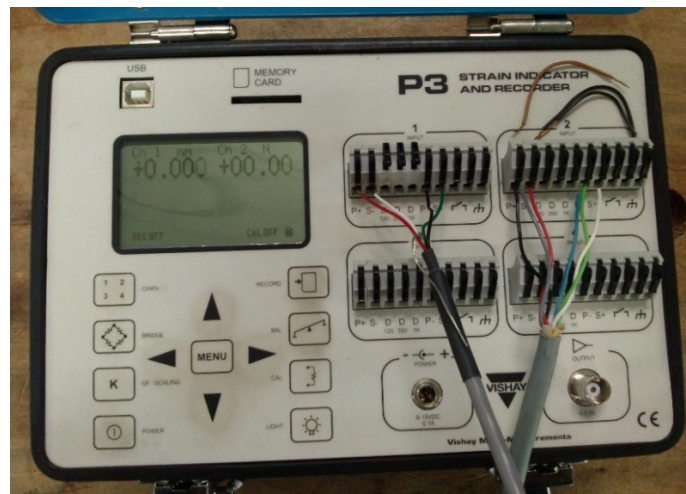


Figura 49 - Condicionador de sinal da marca VISHAY com as ligações efectuadas.

Na Figura 50 é apresentada uma vista global de todo o dispositivo de ensaio.



Figura 50 – Vista global de toda a montagem do dispositivo de ensaio.

3.4.2 Primeiro ensaio

Durante os ensaios foram aplicados incrementos de carga 0,5 kN, 1 kN e 2 kN. Os valores de carga e deslocamento foram registados numa tabela. A partir desta tabela e com recurso à ferramenta de cálculo EXCEL foram traçados os respetivos gráficos. A metodologia adotada consistiu em: aplicar deslocamento através do cilindro hidráulico até serem observados valor de carga decrescentes, este comportamento denotaria o pilar a entrar em encurvadura.

Neste primeiro ensaio foi observado um comportamento inesperado: atingindo um determinado valor (cerca de 60 kN) a carga manteve-se praticamente constante, como se pode observar no gráfico da Figura 51.

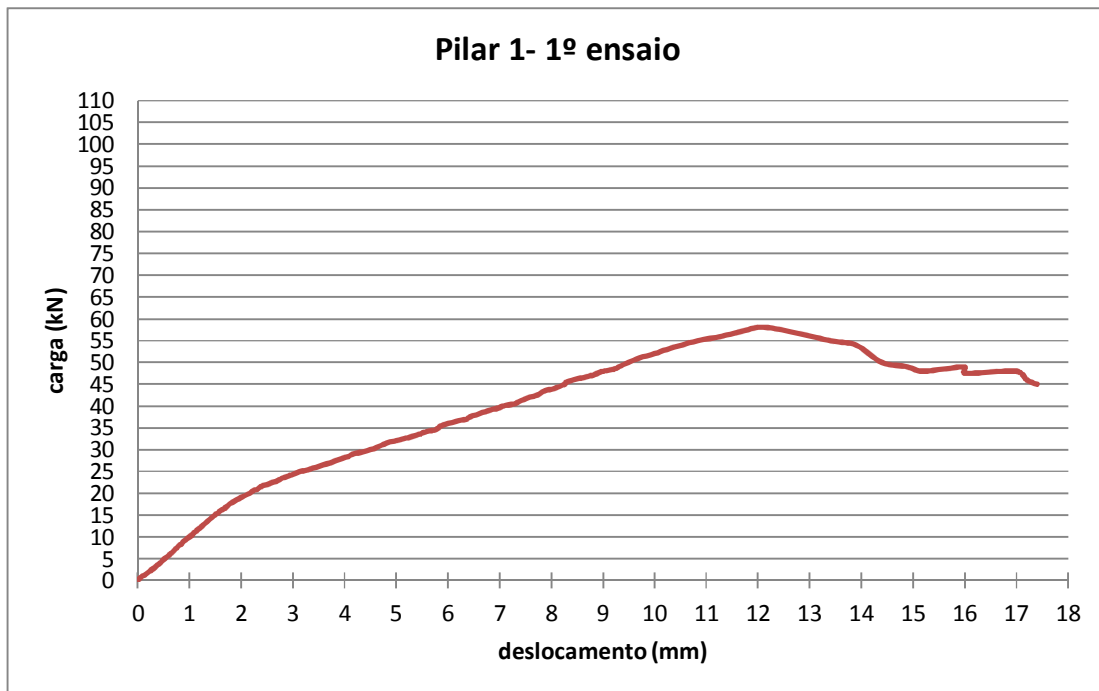


Figura 51 - Gráfico carga vs deslocamento do primeiro ensaio realizado

Depois de analisado este comportamento verificou-se que este foi devido à deformação plástica dos pinos por compressão e não a encurvadura do perfil, Figura 52 e Figura 53.

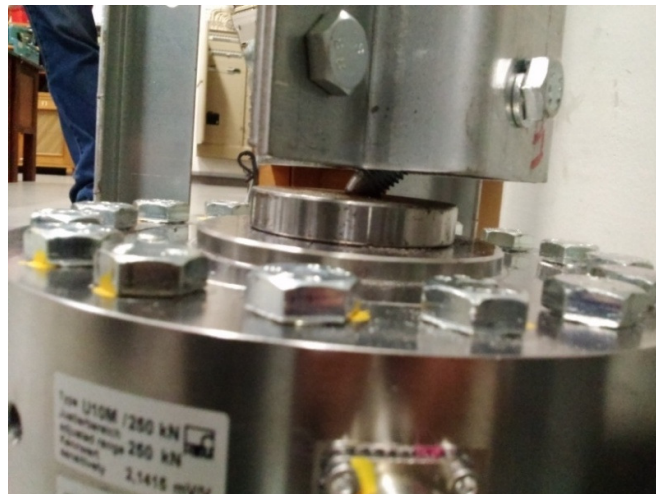


Figura 52 - Deformação plástica do pino ainda posicionado no dispositivo de teste



Figura 53 - Deformação plástica do pino

Para corrigir este problema, o parafuso M12 foi substituído por um parafuso M16.

3.4.3 Segundo ensaio

No segundo ensaio foi igualmente observado um fenómeno estranho, embora a carga fosse crescente com o deslocamento imposto, não tinha um comportamento linear conforme se observa no gráfico da Figura 54. Mais, observou-se deslocamentos muito grandes, incompatíveis com deslocamentos correspondentes à encurvadura.

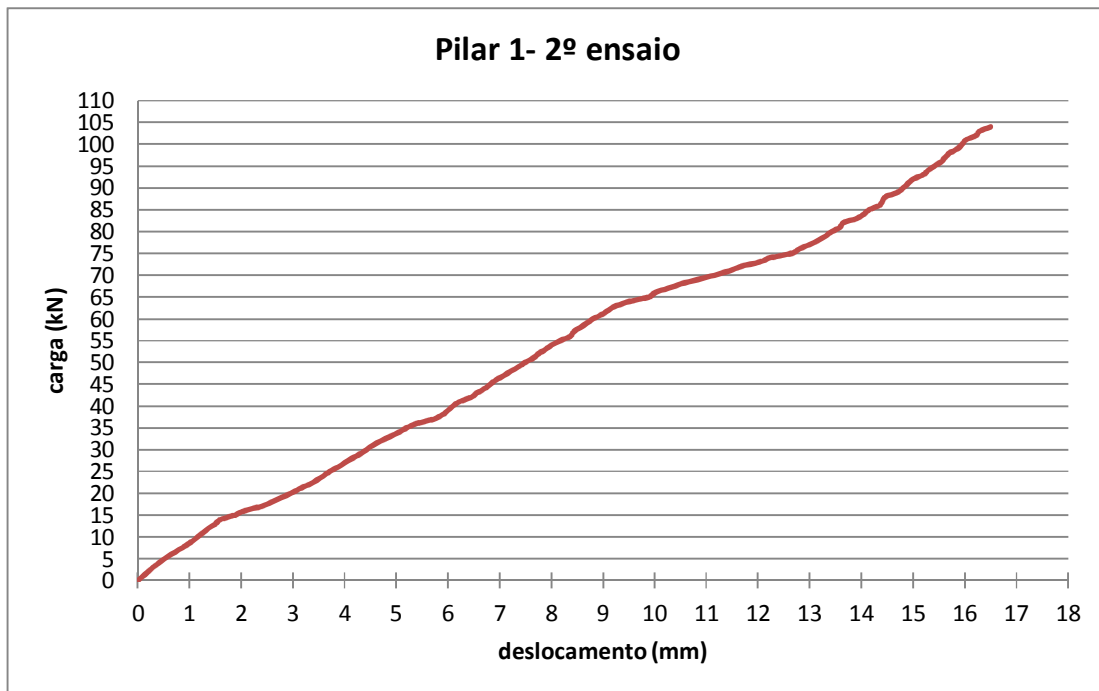


Figura 54 – Gráfico carga vs deslocamento do segundo ensaio realizado

Aos 102 kN de carga, verificou-se que a barra de apoio do cilindro deformou-se plasticamente, Figura 55. Para solucionar esta questão foi necessário aumentar o momento de inércia da barra.



Figura 55 – Deformação plástica da barra de apoio do cilindro

Assim, foram soldadas 2 barras de 80x20mm na perpendicular conforme se pode observar na Figura 56.

Estas ocorrências justificam-se pelo facto de no projeto do dispositivo terem sido utilizados os valores de carga calculados para a encurvadura muito inferiores aos verificados experimentalmente.



Figura 56 - Reforços soldados na barra de apoio do cilindro

Como não eram esperados valores desta ordem de grandeza, foram ainda aplicados mais 4 parafusos M10 em cada base para assim aumentar a resistência ao corte, Figura 57.



Figura 57 - Aplicação de mais 4 parafusos para aumentar a resistência ao corte nas extremidades.

3.4.4 Terceiro ensaio

Depois de corrigidos os problemas identificados nos subcapítulos anteriores foram realizados os ensaios de carga crítica à encurvadura para os perfis referidos.

No terceiro ensaio foi aplicado um deslocamento crescente, registrando-se este valor de deslocamento e o valor de carga correspondente, até serem observados valores de carga decrescentes. Esse ponto foi observado aproximadamente aos 105 kN como se pode verificar no gráfico da Figura 58.

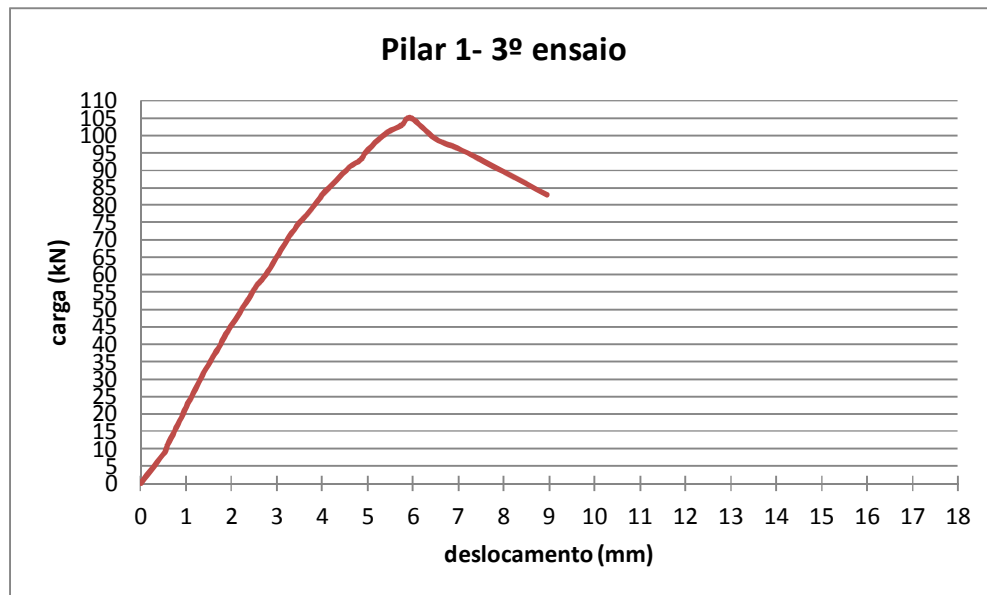


Figura 58 - Gráfico carga vs deslocamento do terceiro ensaio realizado

Observada a máquina de ensaio verificou-se que esta funcionou corretamente. Não apresentou qualquer um dos problemas anteriormente identificados nem outro que pudesse invalidar o ensaio.

Este ensaio foi então considerado válido e a encurvadura do perfil observada na Figura 59, indica que o perfil encurvou no primeiro modo, isto é, encurvadura global do perfil fazendo um arco de apoio a apoio. Não foi verificado instabilidade localizada nas abas do perfil.



Figura 59 – Vista global do terceiro ensaio realizado

3.4.5 Quarto ensaio

No quarto ensaio foi repetido o mesmo método num perfil idêntico. O valor de carga crítica observado no gráfico de comportamento foi de 102 kN, conforme Figura 60.

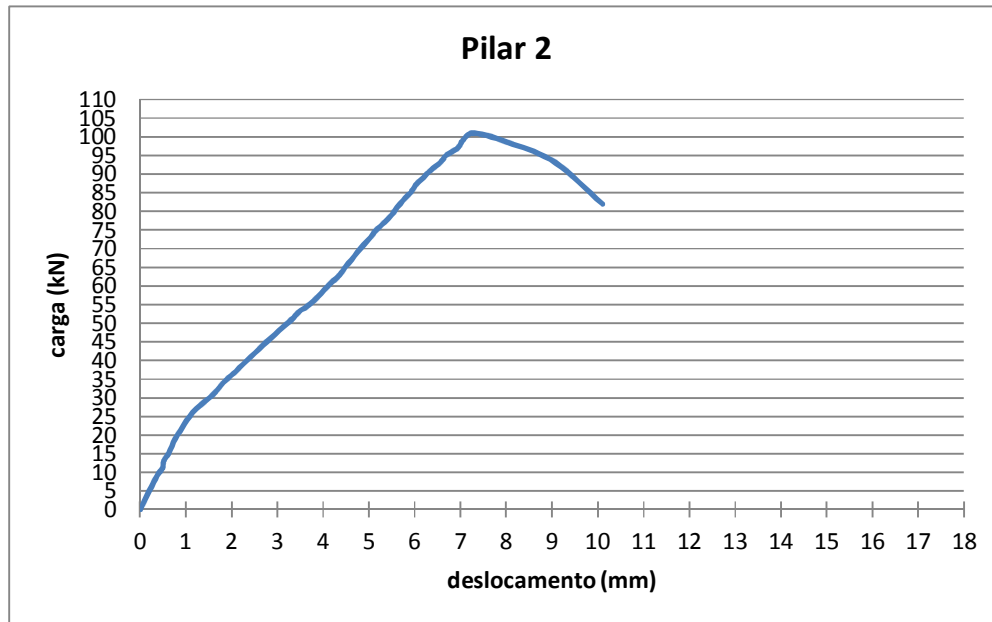


Figura 60 - Gráfico carga vs deslocamento do quarto ensaio realizado

O modo de encurvadura observado neste ensaio foi semelhante ao anterior, modo de encurvadura global, não sendo observado instabilidade localizada. A Figura 61 mostra o perfil depois do ensaio.



Figura 61 - Vista global do quarto ensaio realizado

3.4.6 Quinto ensaio

O método de ensaio já referido foi repetido novamente para outro perfil idêntico. O valor de carga crítica observado no gráfico de comportamento foi de 98 kN, conforme pode ser verificado na Figura 62.

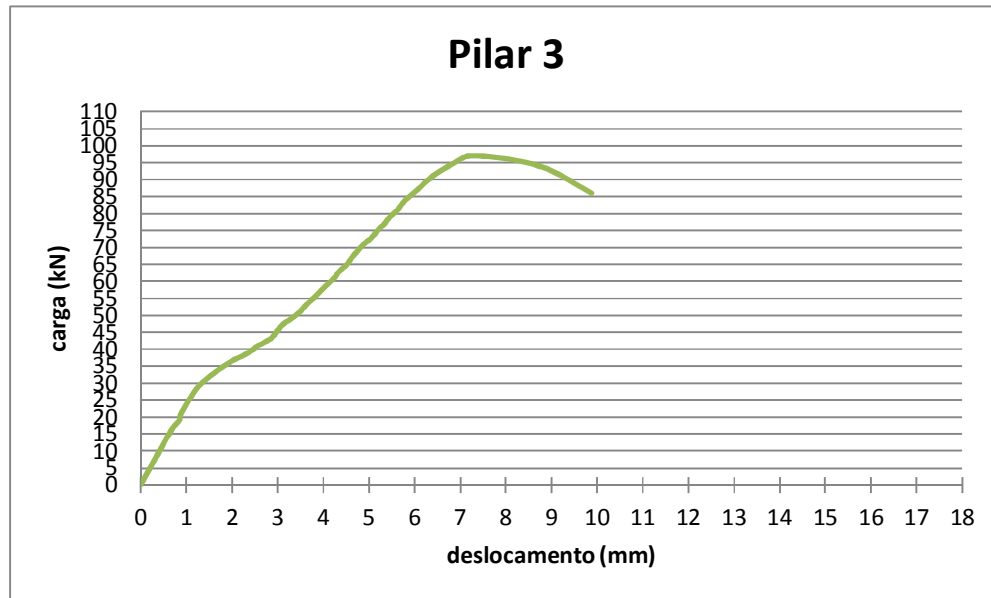


Figura 62 - Gráfico carga vs deslocamento do quinto ensaio realizado

O modo de encurvadura observado neste ensaio foi semelhante ao anterior, modo de encurvadura global, não sendo observado instabilidade localizada. A Figura 63 mostra o perfil depois do ensaio.



Figura 63 - Vista global do quinto ensaio realizado

Como os resultados de carga crítica obtida nos ensaios foram muito superiores ao esperado, não se entendeu ser relevante fazer ensaios sobre um perfil com reforços intermédios conforme Figura 20. Na realidade este reforço intermédio é sempre aplicado para dar continuidade à estrutura na união das travessas.

CONCLUSÕES

- 4.1 Conclusões
- 4.2 Limitações/dificuldades
- 4.3 Proposta de trabalhos futuros

4 CONCLUSÕES

4.1 Conclusões

Neste trabalho procedeu-se à análise da resistência e rigidez de uma estrutura autoportante para *homelifts*, fabricada e comercializada na empresa GRUPNOR[®]. Este estudo foi realizado com o intuito da verificação do desempenho estrutural da mesma. Para tal, foram efetuados cálculos analíticos, simulações numéricas e ensaios experimentais.

Foi realizada uma simulação numérica à totalidade da estrutura utilizando o método dos elementos finitos – MEF com o código comercial Multiframe[®]. Da simulação numérica efetuada pode-se concluir que a estrutura do *homelift* é, em geral, bem dimensionada e adequada para receber os esforços resultantes da sua operação normal, e eventual atuação do paraquedas. Na simulação realizada, apenas foram verificados valores de tensão superiores à tensão de cedência na travessa junto à base que suporta as guias. Assim, após a análise numérica, foi notório que as travessas da estrutura autoportante teriam de ser reforçadas. Anteriormente a empresa não percebeu esta necessidade pois a entrada do paraquedas na posição mais baixa foi algo que nunca aconteceu. O fabricante adotou esta recomendação, de reforçar as travessas, resultante deste estudo.

Durante os ensaios não foram observados fenómenos de instabilidade localizada, sendo que os três ensaios válidos aos perfis de 2,3 m o modo de encurvadura verificado foi o 1^o modo (rotula-rotula).

O dispositivo de ensaio construído e utilizado revelou-se adequado para os ensaios em causa.

Os valores de carga crítica à encurvadura obtidos nos ensaios aos prumos da estrutura do *homelift* foram de 105 kN, 102 kN e 98 kN. Estes valores são muito superiores aos valores de carga atuante sobre os prumos por ação do peso próprio da estrutura e seu revestimento, que é cerca de 8 kN por prumo, ou seja, o coeficiente de segurança destes prumos é de, aproximadamente 12.

4.2 Limitações/dificuldades

As principais dificuldades deste estudo consistiram em projetar, construir e transportar o dispositivo experimental para carregar os perfis. Para o fabrico deste dispositivo a empresa cedeu espaço, recursos materiais e humanos o que foi fulcral para o desenvolvimento deste estudo. Após o fabrico da estrutura, foi necessário agilizar entre a GRUPNOR[®] e o ISEP o transporte e receção do dispositivo. Neste sentido, ao longo de todo este processo foi despendido muito tempo.

4.3 Proposta de trabalhos futuros

No decorrer deste trabalho foi verificado uma resistência e rigidez da estrutura do *homelift* em geral muito elevada, apenas as guias e as travessas que as suportam estão sujeitas a esforços elevados. Assim, os restantes elementos da estrutura (prumos e travessas laterais) podem ser alvo de uma otimização no sentido de redução de espessura.

Este estudo não abordou as ligações entre os diferentes elementos da estrutura. Estes são realizados por ligações aparafusadas, seria interessante fazer um estudo das mesmas, sobretudo a ligação entre travessa e prumo (realizada por apenas 2 parafusos M10).

Seria também interessante analisar a estabilidade da estrutura do *homelift* quando utilizado em grandes alturas (superior a 3 pisos), quando fixada apenas pela base e no último piso. Estas solicitações são raras mas já aconteceram.

O futuro parece apontar para *homelifts* de tração elétrica. Nestes casos, a máquina tem de ficar suspensa e os casos de carga são consideravelmente diferentes. Assim, verificar a capacidade desta estrutura suportar esta modificação poderá ser um trabalho de grande interesse para a empresa.

BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

5.1 FONTES WEB

5 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

- [1] COTTARDO, *Roberto* – “Come funziona – Guida pratica all’ascensore” :Editora Volpe.
- [2] GERVÁSIO, Helena; SIMÕES DA SILVA, Luís; SIMÃO, Pedro – “DIMENSIONAMENTO DE ELEMENTOS METÁLICOS COM PERFIS ENFORMADOS A FRIO DE ACORDO COM A PARTE 1.3 DO EUROCÓDIGO 3”. Lisboa, 4 e 5 Dez. 2003. IV Congresso de Construção Metálica e Mista.
- [3] GMV, Hidro Lift System, document VC 3006, Instruções para a afinação, utilização e manutenção ordinária da válvula de rotura.
- [4] EUROPEAN STANDARD EN 1993-1-3, Eurocode 3 – Part 1-3: General rules - Supplementary rules for cold-formed members and sheeting.
- [5] MARTHA, Luiz Fernando – “ANÁLISE DE ESTRUTURAS”: Editora ELSEVIER
- [6] REAE (Regulamento de Estruturas de Aço para Edifícios, Decreto-Lei nº 211/86 de 31 de Julho)

5.1 FONTES WEB

- [7] <http://www.bucherhydraulics.com/elevator> (16/09/17)
- [8] <https://sites.google.com/site/medioquestoesambientais/analise-do-ciclo-de-vida> (08/07/17)
- [9] <http://www.grupnor.pt/conteudo.php?m=20> (08/07/17)
- [10] https://www.sassi.it/index_it.php (09/10/16)
- [11] <http://forum.bracarae.com/viewtopic.php?p=38996> (16/09/17)
- [12] <http://www.igvlift.com/piattaforme-elevatrici> (11/02/17)
- [13] <http://www.enor.es/catalogos/portugues/HOMELIFT.pdf> (11/02/17)
- [14] https://www.schmitt-elevators.com/pt_pt/ascensores/estruturas_da_caixa/estrutura_da_caixa_em_tubo.php (11/02/17)
- [15] <http://advancegroups.com.au/wp-content/uploads/2016/12/Bucher-Hydraulics-Lifts.pdf> (16/01/16)
- [16] <http://luezar.com/wp-content/uploads/2014/10/Paracaidas-Instantaneos.pdf> (08/07/17)
- [17] <http://saveraride.intranet.saveragroup.com/> (08/07/17)

ANEXOS

- 6.1 Valores que originaram os gráficos dos ensaios
- 6.2 Resultado integral do cálculo das guias no software da Savera
- 6.3 Certificado da chapa utilizada no fabrico da estrutura autoportante

6 ANEXOS

6.1 Valores que originaram os gráficos dos ensaios

1º ensaio - pilar1	
deslocamento (mm)	carga (kN)
0	0
0,01	0,28
0,09	1,01
0,16	1,49
0,22	2,02
0,27	2,52
0,33	3
0,37	3,51
0,43	4,02
0,47	4,49
0,52	5,02
0,57	5,51
0,62	6,01
0,66	6,47
0,71	7,01
0,75	7,5
0,8	8,01
0,85	8,53
0,89	9
0,95	9,52
1	10,02
1,05	10,5
1,1	11,06
1,14	11,51
1,2	12,02
1,24	12,48
1,29	13,01
1,34	13,51
1,39	14,02
1,44	14,55

1,49	15,02
1,55	15,51
1,6	16,04
1,67	16,5
1,72	17
1,78	17,57
1,84	18,01
1,91	18,51
1,99	19,02
2,06	19,4
2,16	20
2,25	20,7
2,32	21
2,38	21,54
2,49	22
2,62	22,51
2,72	23
2,8	23,5
2,93	24
3,03	24,5
3,15	25
3,32	25,5
3,45	26
3,58	26,5
3,72	27
3,84	27,5
3,96	28
4,08	28,5
4,17	29
4,35	29,5
4,5	30
4,61	30,5
4,71	31
4,81	31,5
4,96	32
5,15	32,5
5,29	33
5,45	33,5
5,54	34
5,73	34,5
5,81	35
5,87	35,5
6,01	36

6,16	36,5
6,35	37
6,43	37,5
6,55	38
6,67	38,5
6,79	39
6,96	39,5
7,06	40
7,28	40,5
7,37	41
7,47	41,5
7,59	42
7,73	42,5
7,88	43,5
8,05	44
8,26	45
8,29	45,5
8,6	46,5
8,78	47
8,89	47,5
9,01	48
9,23	48,5
9,31	49
9,49	50
9,7	51
10	52
10,23	53
10,53	54
10,84	55
11,3	56
11,65	57
12,19	58
13,4	55
13,9	54
14,4	50
14,9	49
15,2	48
16	49
16	47,5
17	48
17,2	46
17,4	45

2º ensaio - pilar 1	
deslocamento (mm)	carga (kN)
0	0
0,25	2,6
0,4	4
0,65	6
0,92	8
1,05	9
1,16	10
1,26	11
1,37	12
1,5	13
1,6	14
1,87	15
2,06	16
2,39	17
2,59	18
2,78	19
2,96	20
3,12	21
3,31	22
3,46	23
3,59	24
3,71	25
3,87	26
4	27
4,14	28
4,3	29
4,42	30
4,55	31
4,7	32
4,88	33
5,05	34
5,2	35
5,4	36
5,72	37
5,89	38
6	39
6,1	40
6,22	41
6,45	42

6,56	43
6,71	44
6,82	45
6,93	46
7,08	47
7,22	48
7,37	49
7,49	50
7,65	51
7,75	52
7,89	53
8,01	54
8,17	55
8,37	56
8,43	57
8,56	58
8,69	59
8,81	60
8,98	61
9,11	62
9,26	63
9,52	64
9,89	65
10,01	66
10,26	67
10,51	68
10,83	69
11,16	70
11,45	71
11,67	72
12,03	73
12,24	74
12,65	75
12,8	76
13	77
13,17	78
13,31	79
13,43	80
13,59	81
13,65	82
13,91	83
14,05	84

14,15	85
14,35	86
14,41	87
14,47	88
14,7	89
14,81	90
14,9	91
15	92
15,19	93
15,29	94
15,41	95
15,55	96
15,62	97
15,71	98
15,86	99
15,95	100
16,02	101
16,22	102
16,29	103
16,5	104

3º ensaio - pilar 1	
deslocamento (mm)	carga (kN)
0	0
0,53	9
0,59	11
0,67	13
0,75	15
0,82	17
0,9	19
0,97	21
1,04	23
1,13	25
1,2	27
1,28	29
1,36	31
1,44	33
1,54	35
1,62	37
1,72	39
1,8	41

1,88	43
1,98	45
2,08	47
2,18	49
2,27	51
2,38	53
2,47	55
2,56	57
2,7	59
2,81	61
2,9	63
2,99	65
3,09	67
3,18	69
3,27	71
3,39	73
3,5	75
3,64	77
3,77	79
3,89	81
4	83
4,15	85
4,3	87
4,45	89
4,61	91
4,84	93
4,95	95
5,09	97
5,25	99
5,45	101
5,75	103
5,96	105
6,5	99
7,2	95
8,95	83

4º ensaio - pilar 2	
deslocamento (mm)	carga (kN)
0	0
0,37	9
0,49	11
0,52	13

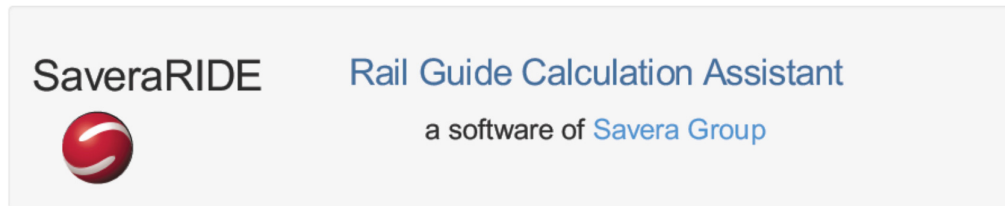
0,62	15
0,7	17
0,77	19
0,87	21
0,97	23
1,08	25
1,23	27
1,42	29
1,61	31
1,75	33
1,9	35
2,09	37
2,25	39
2,42	41
2,6	43
2,77	45
2,95	47
3,13	49
3,32	51
3,47	53
3,7	55
3,88	57
4,03	59
4,19	61
4,37	63
4,48	65
4,62	67
4,75	69
4,89	71
5,03	73
5,16	75
5,34	77
5,5	79
5,62	81
5,75	83
5,91	85
6,02	87
6,19	89
6,35	91
6,55	93
6,69	95
6,94	97
7,05	99

7,3	101
8,15	98
9,08	93
10,1	82

5º ensaio - pilar 3	
deslocamento (mm)	carga (kN)
0	0
0,37	9
0,45	11
0,53	13
0,62	15
0,71	17
0,84	19
0,88	21
0,97	23
1,05	25
1,15	27
1,26	29
1,42	31
1,61	33
1,82	35
2,06	37
2,36	39
2,57	41
2,84	43
2,97	45
3,09	47
3,29	49
3,48	51
3,62	53
3,78	55
3,93	57
4,08	59
4,24	61
4,35	63
4,52	65
4,62	67
4,75	69
4,89	71
5,07	73
5,19	75

5,34	77
5,46	79
5,62	81
5,73	83
5,88	85
6,06	87
6,22	89
6,4	91
6,62	93
6,88	95
7,22	97
8,07	96
8,93	93
9,88	86

6.2 Resultado integral do cálculo das guias no software da Savera



Cantilever -

Elements to be used

Rail Guide T82/B SUPER	Clip SS2 Valid to resistance criteria	Fishplate thickness 10 mm SUPER	Fishplate thickness 28 T mm section mm
--	---	---	--

Guide Rail Calculation EN 81 20-50 & EN 81-77

Input data

Section 1

Guide rail material	Steel
Car mass (P)	540 Kg
Cables and compensation mass (P')	0 Kg
Rated load (Q)	400 Kg
Load type	Passenger lifts
Distance between brackets (l)	120 cm
Distance between guide shoes (h)	195 cm
Rollers /Shoes	Rollers
Guide shoes lenght (B)	0 cm
Safety gear	Instantaneous roller type
Car depth (Dx)	110 cm
Car width (Dy)	140 cm
Distance (Z)	14 cm
Gravity centre of the cabine to Y axis (Xp)	72 cm

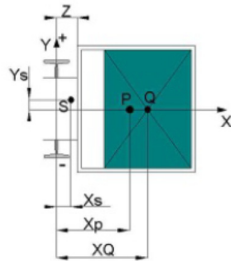
Section 2

Door position	1
Gravity centre of the cabine to X axis (Yp)	0 cm
Suspension of the cabine to Y axis (Xs)	0 cm
Suspension of the cabine to X axis (Ys)	10 cm
Car speed (V)	0.15 m/s
Building height (H)	10 m
Are taken into account friction forces of clips?	No
Additional load due to auxiliary equipment (M)	0 Kg
Guide rail assembly system	Supported
Structural stiffnes in X axis	10000000000 N/cm
Structural stiffnes in Y axis	10000000000 N/cm
Seismic zone	No seismic zone
Design acceleration (Ad)	0 m/s ²
Distance (ZSE)	0 cm

Summary of calculations

CASE1

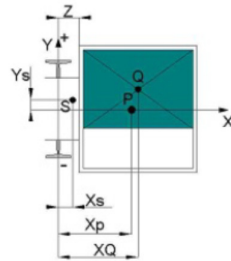
SAFETY GEAR OPERATION



Y-Y AXIS (Bending)
$F_x = 5426,18 \text{ N}$
$M_y = 122089,15 \text{ Ncm}$
$\delta_x = 0,22 \text{ cm} < 0,5 \text{ cm}$
$\sigma_y = 16592,71 \text{ N/cm}^2 < 22777,8 \text{ N/cm}^2$
X-X AXIS (Bending)
$F_y = 0,00 \text{ N}$
$M_x = 0,00 \text{ Ncm}$
$\delta_y = 0,00 \text{ cm} < 0,5 \text{ cm}$
$\sigma_x = 0,00 \text{ N/cm}^2 < 22777,8 \text{ N/cm}^2$
Buckling
$F_v = 14657,27 \text{ N}$
$\sigma_k = 1999,37 \text{ N/cm}^2 < 22777,8 \text{ N/cm}^2$
Flange bending
$\sigma_F = 17846,12 \text{ N/cm}^2 < 22777,8 \text{ N/cm}^2$
Combined stresses
$\sigma_m = 16592,71 \text{ N/cm}^2 < 22777,8 \text{ N/cm}^2$
$\sigma = 17936,18 \text{ N/cm}^2 < 22777,8 \text{ N/cm}^2$
$\sigma_c = 16932,80 \text{ N/cm}^2 < 22777,8 \text{ N/cm}^2$

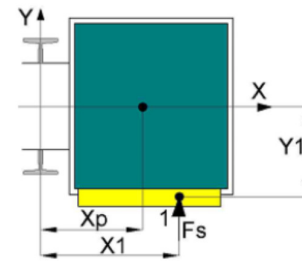
CASE2

SAFETY GEAR OPERATION



Y-Y AXIS (Bending)
$F_x = 5011,57 \text{ N}$
$M_y = 112760,31 \text{ Ncm}$
$\delta_x = 0,20 \text{ cm} < 0,5 \text{ cm}$
$\sigma_y = 15324,86 \text{ N/cm}^2 < 22777,8 \text{ N/cm}^2$
X-X AXIS (Bending)
$F_y = 1055,38 \text{ N}$
$M_x = 23746,15 \text{ Ncm}$
$\delta_y = 0,03 \text{ cm} < 0,5 \text{ cm}$
$\sigma_x = 2312,19 \text{ N/cm}^2 < 22777,8 \text{ N/cm}^2$
Buckling
$F_v = 14657,27 \text{ N}$
$\sigma_k = 1999,37 \text{ N/cm}^2 < 22777,8 \text{ N/cm}^2$
Flange bending
$\sigma_F = 16482,49 \text{ N/cm}^2 < 22777,8 \text{ N/cm}^2$
Combined stresses
$\sigma_m = 17637,04 \text{ N/cm}^2 < 22777,8 \text{ N/cm}^2$
$\sigma = 18980,52 \text{ N/cm}^2 < 22777,8 \text{ N/cm}^2$
$\sigma_c = 17872,71 \text{ N/cm}^2 < 22777,8 \text{ N/cm}^2$

LOADING



Y-Y AXIS (Bending)
$F_x = 1364,96 \text{ N}$
$M_y = 30711,69 \text{ Ncm}$
$\delta_x = 0,06 \text{ cm} < 0,5 \text{ cm}$
$\sigma_y = 4173,92 \text{ N/cm}^2 < 18222,2 \text{ N/cm}^2$
X-X AXIS (Bending)
$F_y = 527,69 \text{ N}$
$M_x = 11873,08 \text{ Ncm}$
$\delta_y = 0,01 \text{ cm} < 0,5 \text{ cm}$
$\sigma_x = 1156,09 \text{ N/cm}^2 < 18222,2 \text{ N/cm}^2$
Buckling
$F_v = 839,27 \text{ N}$
$\sigma_v = 76,93 \text{ N/cm}^2 < 18222,2 \text{ N/cm}^2$
Flange bending
$\sigma_F = 4489,22 \text{ N/cm}^2 < 18222,2 \text{ N/cm}^2$
Combined stresses
$\sigma_m = 5330,01 \text{ N/cm}^2 < 18222,2 \text{ N/cm}^2$
$\sigma = 5406,94 \text{ N/cm}^2 < 18222,2 \text{ N/cm}^2$

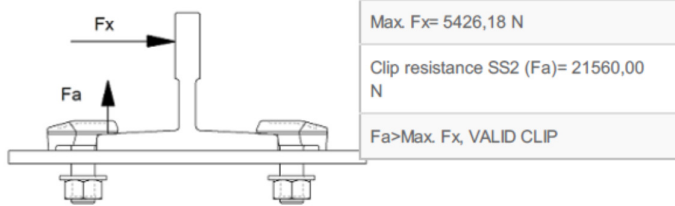
CASE1**NORMAL OPERATION,
RUNNING**

Y-Y AXIS (Bending)
$F_x = 2170,47 \text{ N}$
$M_y = 48835,66 \text{ N}\cdot\text{cm}$
$\delta_x = 0,09 \text{ cm} < 0,5\text{cm}$
$\sigma_y = 6637,08 \text{ N/cm}^2 < 18222,2\text{N/cm}^2$
X-X AXIS (Bending)
$F_y = 566,89 \text{ N}$
$M_x = 12755,08 \text{ N}\cdot\text{cm}$
$\delta_y = 0,01 \text{ cm} < 0,5\text{cm}$
$\sigma_x = 1241,97 \text{ N/cm}^2 < 18222,2\text{N/cm}^2$
Buckling
$F_v = 839,27 \text{ N}$
$\sigma_v = 76,93 \text{ N/cm}^2 < 18222,2\text{N/cm}^2$
Flange bending
$\sigma_F = 7138,45 \text{ N/cm}^2 < 18222,2\text{N/cm}^2$
Combined stresses
$\sigma_m = 7879,06 \text{ N/cm}^2 < 18222,2\text{N/cm}^2$
$\sigma = 7955,98 \text{ N/cm}^2 < 18222,2\text{N/cm}^2$

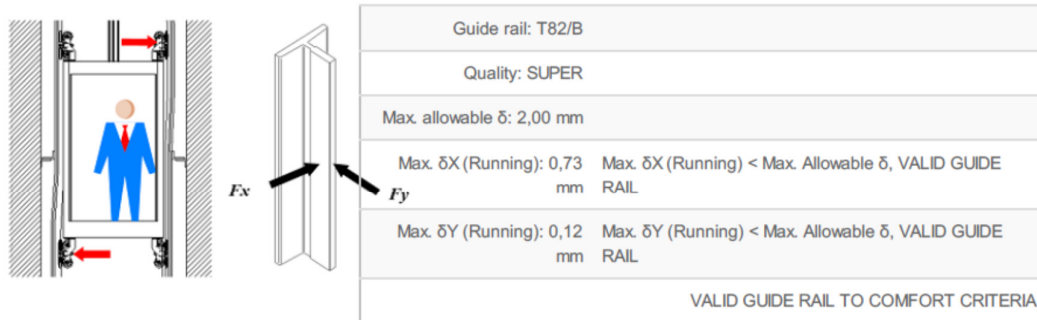
CASE2**NORMAL OPERATION,
RUNNING**

Y-Y AXIS (Bending)
$F_x = 2004,63 \text{ N}$
$M_y = 45104,12 \text{ N}\cdot\text{cm}$
$\delta_x = 0,08 \text{ cm} < 0,5\text{cm}$
$\sigma_y = 6129,94 \text{ N/cm}^2 < 18222,2\text{N/cm}^2$
X-X AXIS (Bending)
$F_y = 144,74 \text{ N}$
$M_x = 3256,62 \text{ N}\cdot\text{cm}$
$\delta_y = 0,00 \text{ cm} < 0,5\text{cm}$
$\sigma_x = 317,10 \text{ N/cm}^2 < 18222,2\text{N/cm}^2$
Buckling
$F_v = 839,27 \text{ N}$
$\sigma_v = 76,93 \text{ N/cm}^2 < 18222,2\text{N/cm}^2$
Flange bending
$\sigma_F = 6593,00 \text{ N/cm}^2 < 18222,2\text{N/cm}^2$
Combined stresses
$\sigma_m = 6447,04 \text{ N/cm}^2 < 18222,2\text{N/cm}^2$
$\sigma = 6523,97 \text{ N/cm}^2 < 18222,2\text{N/cm}^2$

CLIP RESISTANCE



COMFORT CALCULATION



6.3 Certificado da chapa utilizada no fabrico da estrutura autoportante

TRIMETAL COMÉRCIO DE METAIS, SA Contribuinte nº 500 290 270 Ap. 61 - EC VALADARES 4430-011 V. N. GUA Telef. 227156680 Fax: 227117670		A02 CERTIFICATE TEST REPORT ACCORDING EN10204-2.2 DR EQUIVALENT.		A03 171183493 P. 01/01		A09 DISPATCH NOTE 1411630		A06.1 CUSTOMER TRIMETAL - COMERCIO DE METAIS, A APARTADO 61 EC VALADARES P-4406-901 VILA NOVA DE GAIA PORTUGAL 6587361	
A05 AUTHOR OF THE DOCUMENT AM LIEGE/ QUALITY DEPARTMENT		A07 YOUR ORDER NO 969/17		A08 ORDER NUMBER 48944		A06.2 DESTINATION M. OLIVEIRA, LDA. RUA DA ILHA, 311 P-3886-909 ESMORIZ PORTUGAL 0007266			
B01 -BOX HOT DIP GALVANISED - 1ST CHOICE QUALITY DX51D+Z - CHROMIUMATING - UNOILED, MILL EDGES, DOUBLE SIDE ZINC-COATED (GALVANISED), 100.0 GR/M2 / 100.0 GR/M2. E PASSIVATION (ROHS COMPLIANCE)		B09 ITEM B10 WIDTH B11 THICKNESS MM MM 1.250 4.00		B07 COIL NO 29049		B08 CAST N. 31064 89769 39769		STANDARD = EN 10346 (00-09-2009)	
CHEMICAL ANALYSIS C70 STEELMAKING PROCESS: LD									
B09 ITEM 02		B13 GROSS WEIGHT KG 7427 (G56092433) 10650 (G57052612) 10972 (G570525211) 29049		C71 C72 C73 C74 C75 C76 C77 C78 C79 C80 C81 C82 C83 C84 C85		C Mn Si P S N Al Ti Cr Ni Cu As Sn Nd B V Mo 107% 107% 107% 107% 107% 107% 107% 107% 107% 107% 107% 107% 107% 107% 107% 107% 107% 107% 107%		44 19 5 13 18 59 26 1 72 37 27 1 2 0 1 1 1 4	
MECHANICAL PROPERTIES TENSILE TEST C04 C02 C11 C12 C13 YIELD STRENGTH Rm A X MPa MPa MPa 301 368 33 324 386 32 319 386 32									
REMARKS TENSILE TEST SPECIMEN LC/LD/BO 120/ 5.65 SQR(SO)/ 20 MM. C04 CONDITION OF THE SPECIMEN C02 DIRECTION SPECIMEN V:AGED F:NON-AGED N:NORMALISED L:OGR S:45GR D:90GR									

TRIMETAL
 COMÉRCIO DE METAIS, SA
 Contribuinte nº 500 290 270
 Ap. 61 - EC VALADARES 4430-011 V. N. GUA
 Telef. 227156680 Fax: 227117670

R. SLOCK
 QUALITY DEPARTMENT