



Departamento
de Engenharia Mecânica

Avaliação Experimental e Numérica de um Suporte de Máquina de Elevador sem Casa de Máquina

Projeto apresentado para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia
Mecânica

Autor

António Carlos Barata Antunes

Orientador

Prof. Doutor Luis Manuel Ferreira Roseiro

Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

Coimbra, maio, 2018

Agradecimentos

Para o desenvolvimento do presente trabalho, contribuíram diversas pessoas, a quem gostaria de expressar o meu sincero agradecimento:

- Ao Professor Doutor Luis Roseiro, mais que orientador, foi também um amigo incentivando-me a avançar e ultrapassar todas dificuldades que foram surgindo no desenvolvimento deste trabalho. Agradeço sinceramente toda a disponibilidade e confiança em mim depositada.
- À EP – Elevadores Padrão por toda a cooperação, esclarecimentos técnicos, informação disponibilizada e acesso às suas instalações.
- Aos meus pais, irmãos, família e amigos por todo o apoio constante e incondicional.
- Por fim, mas não menos importante, um agradecimento muito especial para a minha Andreia e Filipa, que tanta força que me deram e continuarão a dar.

Resumo

Este trabalho descreve a avaliação experimental e numérica efetuada a uma estrutura de suporte de um elevador sem casa de máquinas. A estrutura em análise é do tipo tubular, sendo ancorada nos elementos de suporte das guias da cabine e do contrapeso do elevador através de flanges aparafusadas. A avaliação experimental foi implementada com recurso a extensometria elétrica por resistência, recorrendo a três rosetas extensométricas, que permitiram caracterizar o campo de deformações nas zonas instrumentadas. Os testes foram implementados em contexto de utilização real, num elevador de teste com poço de dois andares. Para a avaliação numérica foi desenvolvido um modelo numérico de elementos finitos da estrutura de suporte, com recurso ao software Solidworks. Além da convergência de malha efetuada ao modelo, a sua validação e *updating* foi feita a partir dos resultados experimentais. Deste modo, foi possível avaliar numericamente a estrutura para as condições limite de utilização, tendo por base a normalização aplicável, sendo os resultados apresentados e discutidos.

Palavra Chave: Elevador sem Casa de Máquinas; Análise Experimental de Tensões; Elementos Finitos;

Abstract

This project work describes the experimental and numerical evaluation of a mechanical support structure of an elevator without an engine room. The structure under analysis has a central tubular section, and is anchored in the support elements of the cab guides and the counterweight of the elevator through bolted flanges. The experimental evaluation was implemented with the use of stress analysis, using three strain gauges, which allowed to characterize the field of deformations in the instrumented zones. The tests were implemented in a two-story test lift. For the numerical evaluation, a finite element model of the support structure was developed, using Solidworks software. Besides the mesh convergence made to the model, its validation and updating was made from the experimental results. In this way, it was possible to numerically evaluate the structure for the limit conditions of use, based on the applicable normalization, and the results are presented and discussed.

Keywords: Elevator without machine room; Experimental Stress Analysis; Finite Elements;

Índice

AGRADECIMENTOS	II
RESUMO	III
ABSTRACT	IV
ÍNDICE	V
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE TABELAS	11
SIMBOLOGIA E ABREVIATURAS	13
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	14
1.1 - Enquadramento do tema	14
1.2 - Objetivos e metodologia	15
CAPÍTULO 2 - O SISTEMA DE ELEVAÇÃO	17
CAPÍTULO 3 - NORMAS E DIRETIVAS EM ELEVADORES	25
3.1 - Coeficiente de impacto em Elevadores	29
CAPÍTULO 4 - CARACTERIZAÇÃO DO SUPORTE DE MÁQUINA	31
4.1 - Identificação das solicitações no suporte	36
4.2 - Localização das cargas no suporte de máquina	40
4.2.1 - Aplicação de força de contrapeso no suporte	40
4.2.2 - Aplicação do peso próprio da máquina	40
4.2.3 - Aplicação das cargas da cabina e do contrapeso	41
CAPÍTULO 5 - ESTUDO EXPERIMENTAL	43
5.1 - Procedimento para aquisição de dados experimentais	49
5.2 - Resultados experimentais	54
5.3 - Cálculo das tensões de von Mises	56
CAPÍTULO 6 - ESTUDO NUMÉRICO DE SUPORTE DE MÁQUINA PELO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS	59
6.1 - Definição do modelo numérico	60
6.2 - Validação de modelo numérico	71
6.3 - Resultados numéricos em condições limite de solicitação	78
CAPÍTULO 7 - CONCLUSÕES	82

CAPÍTULO 8 - BIBLIOGRAFIA	83
CAPÍTULO 9 - ANEXOS	85
9.1 - Anexo A – Catálogo elevador com casa máquina	85
9.2 - Anexo B – Catálogo elevador sem casa máquina	86
9.3 - Anexo C – Desenho fixação à parede	87
9.4 - Anexo D – Desenho suporte máquina	88
9.5 - Anexo E – Projeto de instalação	89
9.6 - Anexo F – Características do motor	90
9.7 - Anexo G – Binário de aperto de parafusos	91

Índice de Figuras

Figura 1 – Estrutura de suporte da máquina do elevador: a) Modelo 3D; b) Em funcionamento.	15
Figura 2 – Paraquedas (a) e limitador de velocidade (b).....	17
Figura 3 – Elevador elétrico típico (Automação, s.d.)	18
Figura 4 – Elevador com casa das máquinas (a) e sem casa das máquinas (b) (Archdaily, s.d.)	19
Figura 5 – Sistema elevação 1:1 (a) e sistema de elevação 2:1 (b)	20
Figura 6 – Amarra-cabos com mola.....	21
Figura 7 - Fixação de cabos.....	21
Figura 8 - Fixação de cabos no suporte	22
Figura 9 - Amarra-cabos sem mola.....	22
Figura 10 - Perfil de gornes de roda de tração	23
Figura 11 - Perfil de gornes de roda de desvio	23
Figura 12 – Esquema de um elevador elétrico sem casa das máquinas com sistema 2:1..	24
Figura 13 – Coeficiente de impacto considerado pela norma EN81-20.....	30
Figura 14 - Suporte de máquina	31
Figura 15 - Fixação do suporte de máquina	33
Figura 16 - Furação no topo das guias.....	34

Figura 17 - Posicionamento e fixação de suporte	34
Figura 18 – Suporte ancorado nas guias e fixações laterais de parede	34
Figura 19 - Parafusos de fixação de suporte de máquina	35
Figura 20 – Cargas aplicadas ao suporte de máquina.....	37
Figura 21 – Especificações técnicas do elevador (a) e da máquina de tração (b).	38
Figura 22 - Cargas aplicadas ao suporte.....	39
Figura 23 - Área de aplicação de força do contrapeso no suporte	40
Figura 24 - Áreas de contacto das sapatas da máquina.....	40
Figura 25 - Localização do centro das cargas de cabina e contrapeso, relativamente ao suporte	41
Figura 26 – Centro da queda de cabos na roda da máquina, relativamente ao suporte ...	42
Figura 27 - Torre de ensaios da EP	43
Figura 28 - Consola de comando no cimo da cabina	44
Figura 29 - Roseta RY8 (HBM, s.d.).....	44
Figura 30 – <i>Datasheet</i> do modelo de roseta utilizado.	45
Figura 31 - Model P3 Strain Indicator And Recorder (a) e a ligação em ¼ de ponte (b).....	45
Figura 32 - Ligação de Roseta ao Model P3	46
Figura 33 - Localização e direção de rosetas no suporte	47
Figura 34 - Preparação de zona para aplicação de roseta	48
Figura 35 - Fixação de rosetas com cola de alto rendimento	48

Figura 36 – Localização e identificação de rosetas no suporte.....	49
Figura 37 - Tubo de apoio de cabina	51
Figura 38 – Guincho manual para suspensão de contrapeso	51
Figura 39 - Colocação de pesos para simulação de carga na cabina.....	52
Figura 40 - Aquisição de dados por ensaios de extensometria.....	53
Figura 41 - Componentes modelados em 3D	59
Figura 42 - Chapas soldadas (a) e Modelo simplificado (b).....	60
Figura 43 - Modelo numérico sem cordões de solda	60
Figura 44 – Seleção do aço S235JR no Solidworks	61
Figura 45 - Elemento SOLID do Solidworks	61
Figura 46 – Condições de fronteira na fixação do suporte à parede (esquerda) e às guias (direita).	62
Figura 47 - Contacto entre superfícies do tipo "no penetration"	62
Figura 48 - Pré-carga em ligação aparafusada	63
Figura 49 - Carga da massa do motor.....	63
Figura 50 - 1/2 da Carga do contrapeso aplicada à roda de tração do motor	64
Figura 51 - 1/2 da Carga da cabina aplicada à roda de tração do motor	64
Figura 52 - 1/2 da Carga do contrapeso aplicada aos amarra-cabos.....	65
Figura 53 - Variação de ângulo dos cabos entre roda de máquina e roda de contrapeso .	66
Figura 54 - Variação de verticalidade dos amarra-cabos no suporte.....	66

Figura 55 - Deslocamento máximo	67
Figura 56 - Total de elementos vs deslocamento	68
Figura 57 - Total de elementos vs deslocamento (refinado)	69
Figura 58 - Malha convergida.....	70
Figura 59 - Modelagem de extensómetros na malha do modelo.....	70
Figura 60 - Distribuição de tensões da simulação de ensaio "Exp3"	71
Figura 61 - Aquisição de tensões de von Mises nas localizações das rosetas	71
Figura 62 - Cargas na máquina distribuídas pelos 5 cabos	73
Figura 63 - Cargas na roda de máquina deslocadas para a esquerda / direita.....	74
Figura 64 - Distribuição da carga do contrapeso no suporte 1/3 - 1/3 - 1/3	75
Figura 65 - Distribuição da carga do contrapeso no suporte 1/5 - 1/5 - 3/5	76
Figura 66 - Tensões de von Mises "Exp3" vs "Num6"	77
Figura 67 - Distribuição de tensões de von Mises com aplicação de carga máxima	78
Figura 68 - Resultados do Iso Clipping	79
Figura 69 - Concentração de tensões nas zonas aparafusadas.....	79
Figura 70 - Concentração de tensões entre tubo central e chapa.....	80
Figura 71 - Distribuição dos deslocamentos resultantes no modelo.....	81

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Características mecânicas principais do aço S235JR	32
Tabela 2 – Aperto de parafusos.....	35
Tabela 3 - Cargas a considerar para a estrutura de suporte de máquina	38
Tabela 4 - Cargas consideradas no ensaio experimental	46
Tabela 5 - Procedimento e sequência para aquisição de dados experimentais	50
Tabela 6 - Valores de ensaios experimentais na roseta A.....	54
Tabela 7 - Valores de ensaios experimentais na roseta B.....	54
Tabela 8 - Valores de ensaios experimentais na roseta C.....	54
Tabela 9 - Tensões equivalentes e de von Mises na roseta A.....	57
Tabela 10 - Tensões equivalentes e de von Mises na roseta B.....	57
Tabela 11 - Tensões equivalentes e de von Mises na roseta C.....	57
Tabela 12 - Tensões de von Mises nas rosetas A, B e C	58
Tabela 13 - Resultados dos vários estudos iniciais de convergência de malha	68
Tabela 14 - Dados dos vários estudos de malha (refinado)	69
Tabela 15 - Comparação das tensões von Mises obtidas pelo ensaio "Exp3" e ensaio "Num1"	72
Tabela 16 - Comparação das tensões von Mises obtidas pelo ensaio "Exp3" e ensaio "Num2"	73

Tabela 17 - Comparação das tensões von Mises obtidas pelo ensaio "Exp3" e ensaios "Num3" e "Num4"	74
Tabela 18 - Comparação das tensões von Mises obtidas pelo ensaio "Exp3" e ensaio "Num5"	75
Tabela 19 - Comparação das tensões von Mises obtidas pelo ensaio "Exp3" e ensaio "Num6"	76

Simbologia e Abreviaturas

SIMBOLOGIA

A	Área	[m ²]
M	Momento	[N.m]
Mt	Momento torsor	[N.m]
Mf	Momento fletor	[N.m]
N	Newton	[N]
F	Força	[N]
E	Módulo de elasticidade longitudinal	[MPa]
Δl	Alongamento no ensaio de tração	
σ_{max}	Tensão Máxima	[MPa]
σ_c	Tensão de cedência	[MPa]
ϵ	Deformação	
3D	Três Dimensões	
ISO	International Organization for Standardization	
NP	Norma Portuguesa	
EN	Norma Europeia	
Sw	Solidworks	
EP	Elevadores Padão, Lda	
SCM	Elevador sem casa das máquinas	
MEF	Método dos Elementos Finitos	
EXP	Análise experimental	
NUM	Análise numérica	
CAB	Cabina de elevador	
CP	Contrapeso de elevador	
CT	Carga total	
Q	Carga da cabina	
P	Carga na cabina	
P+Q	Carga da cabina + carga da cabina	
P+1/2Q	Carga do contrapeso	
Máq	Máquina	
Ext.	Extensómetro	
Exp	Análise experimental	
Num	Estudo numérico	

Capítulo 1 - Introdução

1.1 - Enquadramento do tema

Este trabalho descreve a análise experimental e numérica efetuada a uma estrutura de suporte do sistema de tração de um elevador. O trabalho foi realizado com o apoio de uma empresa que se dedica ao fabrico, comercialização, manutenção e modernização de elevadores, a EP – Elevadores Padrão, cuja unidade de fabrico se localiza na zona industrial do Padrão, Lousã. Esta empresa iniciou a sua atividade em 1992, com intervenção em todo o território nacional, incluindo Madeira e Açores, tendo apostado desde 2006 em mercados internacionais, com destaque para Inglaterra, França, Angola, Cabo Verde, Congo e Moçambique.

Com o objetivo de responder aos novos desafios do mercado, a EP sempre foi uma empresa com uma forte componente de inovação, tendo obtido o Certificado de Qualidade ISO9001 em 2000. Uma das suas principais inovações envolve a implementação de um elevador elétrico sem casa das máquinas, que dispensa a necessidade de uma sala superior ao elevador, dado que toda a estrutura de movimentação e unidades de controlo se localizam no poço do elevador. Neste caso, o sistema de tração é ancorado numa estrutura de suporte, que é posicionada no cimo do poço.

Este tipo de elevador é comercializado pela EP com vários modelos de diferentes dimensões e cargas. Contudo, a unidade de maior sucesso é o elevador de 8 pessoas/630 kg, dado ser o mais pequeno e económico que, além de cumprir a norma específica de elevadores EN81-20 (Elevare, s.d.), cumpre também a legislação para edifícios públicos, regularizado pelo Decreto-Lei nº 163/2006 (República, 2006) , que incorpora requisitos para utilizadores com limitações físico-motoras (mobilidade reduzida, cadeira de rodas, invisuais, etc.)

Pese embora todos os elementos estruturais que incorporam o sistema de elevação sejam importantes, a estrutura de suporte da máquina responsável pela tração da cabina e do contrapeso assume especial relevância. De facto, trata-se de um componente estrutural crítico na segurança de cargas e pessoas, pois sobre ele irão atuar os esforços, estáticos e dinâmicos, provocados tanto pela máquina de tração como por todos os elementos em suspensão (cabina, contrapeso e carga a transportar).

O trabalho que se apresenta pretende avaliar a estrutura de suporte da máquina do elevador, habitualmente implementado pela EP, e que pode ser visualizada na Figura 1.

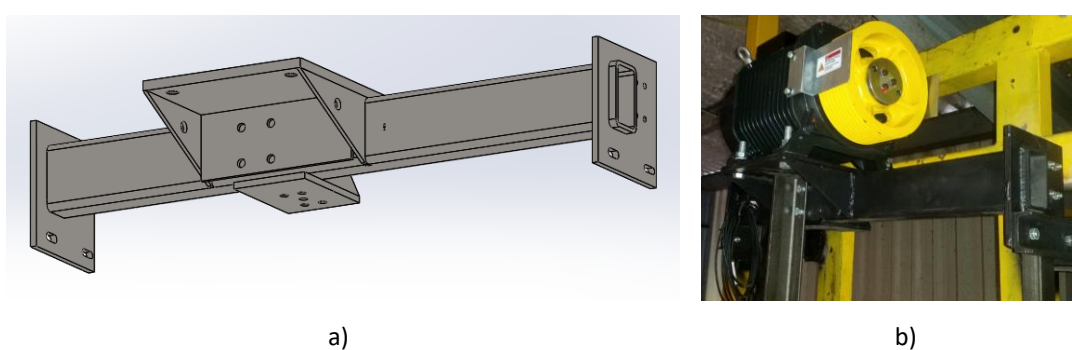


Figura 1 – Estrutura de suporte da máquina do elevador: a) Modelo 3D; b) Em funcionamento.

1.2 - Objetivos e metodologia

O principal objetivo deste trabalho passou por validar a estrutura de suporte que é implementada na EP, tendo em conta as suas características geométricas, materiais utilizados e condições de trabalho. De modo a tornar possível atingir este objetivo, o trabalho envolveu várias etapas que se descrevem e discutem ao longo deste relatório de projeto.

A primeira fase do trabalho envolveu a identificação dos sistemas de elevação, em particular o tipo de elevador sem casa de máquinas que é implementado pela empresa EP. Além da modelação 3D da estrutura de suporte e dos elementos de conexão, esta fase que se descreve no capítulo 2 permitiu identificar e compreender o princípio de funcionamento do elevador sem casa de máquinas.

O projeto e fabrico de sistemas de elevação, em particular aqueles que se destinam ao transporte de pessoas, tem obrigatoriamente que ser sustentado em legislação. Assim, o capítulo 3 descreve a normalização europeia que é aplicável aos elevadores, em particular aquela que pode sustentar a avaliação da estrutura de suporte da máquina do elevador, objeto deste estudo.

Uma das principais etapas deste trabalho passa pela avaliação experimental da estrutura de suporte. Tendo em conta as condições existentes, e dado o facto de ser possível utilizar uma unidade de ensaio com dois pisos de utilização, optou-se por recorrer a técnicas de análise experimental de tensões, recorrendo a extensometria elétrica por resistência, para avaliar em condições reais de funcionamento três zonas da estrutura. Estas zonas foram selecionadas de acordo com o modelo numérico preliminar. A metodologia experimental implementada, resultados obtidos e sua discussão é descrita no capítulo 4.

No capítulo 5 é descrito o modelo numérico que foi desenvolvido para permitir a caracterização e previsão do comportamento estrutural do suporte de máquina. O modelo numérico foi desenvolvido com recurso ao software Solidworks. Em primeiro lugar é descrita a conceção do modelo e as condições consideradas na sua implementação, com destaque para a convergência de malha. De seguida, os resultados numéricos são comparados com os resultados experimentais, procedendo-se ao updating do modelo relativamente aos resultados experimentais. Finalmente, tendo como base o modelo otimizado, é feita uma análise numérica para as condições limite de funcionamento, descrevendo e discutindo os resultados obtidos.

No capítulo 6 são enumeradas as conclusões retiradas da realização deste trabalho de projeto.

Capítulo 2 - O sistema de elevação

Um elevador consiste num sistema eletromecânico que eleva verticalmente uma cabina servindo diferentes patamares, habitualmente pisos do edifício, transportando pessoas e/ou carga, com acesso através de portas de abertura automática, instaladas na cabina e no respetivo piso. A cabina é fixa num chassis, que desliza verticalmente através de um sistema de roçadeiras nas guias que estão montadas na caixa, ao longo de todo o curso do elevador. A maioria dos equipamentos são de tração elétrica ou hidráulica. No caso em estudo, o elevador é de tração elétrica, sendo a suspensão da cabina garantida através de cabos e a sua movimentação efetuada com uma máquina de tração. O equilíbrio da cabina é feito através de uma massa suspensa em contrapeso, minimizando a potência necessária a utilizar pela máquina de tração. No movimento ascendente da cabina, o contrapeso desce e vice-versa. O controlo de todas as operações de arranque, paragem, mudança de velocidade, abertura e fecho de portas são comandados por um quadro de comando elétrico, instalado na casa das máquinas situada no cimo do poço. O quadro de comando elétrico possui um automatismo que gere toda a informação do equipamento, recebendo *inputs* e gerando *outputs* no sistema. Estes sinais podem ser ativos, como por exemplo para a chamada do elevador ao piso ou passivos como por exemplo no processo de mudança de velocidade.

Os elevadores elétricos estão equipados com um sistema de segurança denominado de para-quedas que tem a função de imobilizar a cabina na eventualidade de falha, como por exemplo no caso de rotura dos cabos. A Figura 2 representa um paraquedas (a) e um limitador de velocidade (b) (Wittur, s.d.).



Figura 2 – Paraquedas (a) e limitador de velocidade (b)

O paraquedas de cabina é ativado por um limitador de velocidade que funciona mecanicamente, para que o sistema de segurança não fique dependente de falhas elétricas. A sua atuação é baseada na aceleração da cabina no caso de queda por rotura dos cabos ou por anomalia de funcionamento.

O sistema de para-quedas, desenvolvido e patenteado por Elisha Graves Otis em 1852, foi o catalisador para a expansão e desenvolvimento do transporte vertical de pessoas e carga, dando início à evolução na construção vertical, principalmente nas cidades, transformando-as para sempre. A Figura 3 representa esquematicamente o funcionamento de um elevador elétrico típico.

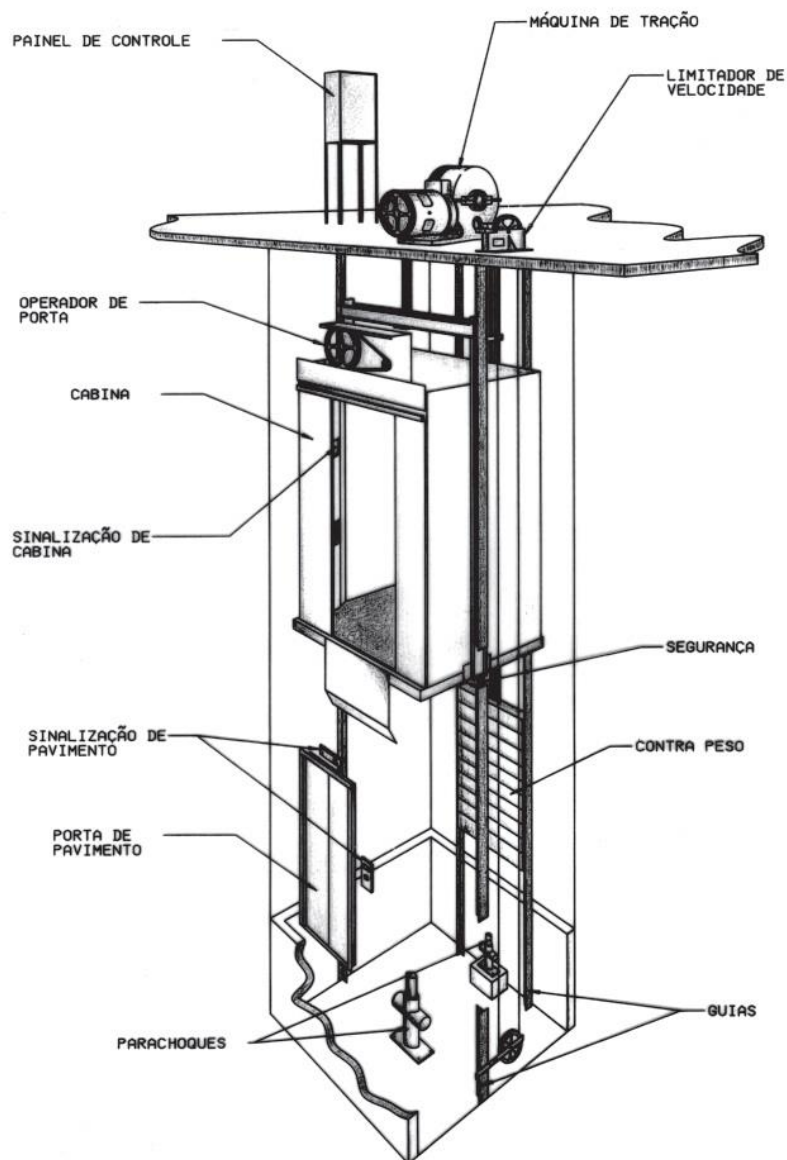


Figura 3 – Elevador elétrico típico (Automação, s.d.)

No caso do elevador sem casa de máquinas, que é uma evolução do elevador elétrico convencional, a sua principal característica e diferença passa pela eliminação da casa das máquinas, tal como representado na Figura 4. Os equipamentos que no elevador elétrico convencional se encontravam na casa das máquinas são repositcionados na caixa (poço) do elevador. A máquina de tração posiciona-se no cimo da caixa e o quadro de comando ao lado de uma das portas, num dos patamares. Este novo conceito, permitiu eliminar a necessidade de uma casa de máquinas, tendo vantagens no custo da instalação dado reduzir as áreas afetadas aos equipamentos do elevador. Esta solução é habitualmente do agrado dos arquitetos e projetistas. Nos anexos A e B, apresentam-se os catálogos, de elevadores com casa das máquinas e sem casa das máquinas comercializados pela Ep.

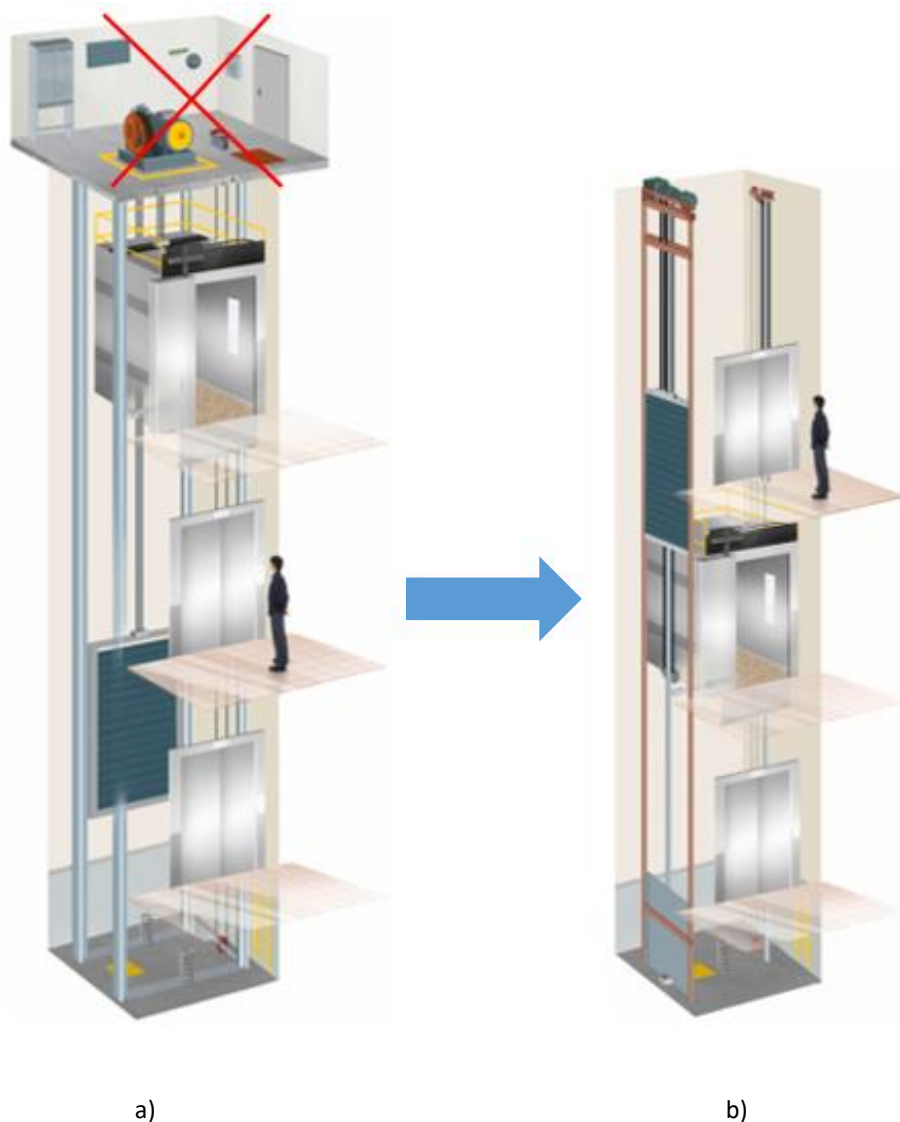


Figura 4 – Elevador com casa das máquinas (a) e sem casa das máquinas (b) (Archdaily, s.d.)

Outra das evoluções recentes nos elevadores envolve a relação de transmissão que é implementada. Habitualmente, a suspensão da cabina e do contrapeso é feita através de cabos, normalmente de modo direto com um sistema 1:1, onde, por cada metro de cabo que a máquina de tração movimenta, a cabina e contrapeso também se deslocam um metro, tal como representado na Figura 5 (a).

Recentemente tem vindo a ser implementado o sistema 2:1, onde se implementa uma desmultiplicação do movimento na relação de 2 para 1, ou seja, por cada dois metros de cabo que a máquina de tração movimenta, a cabina e contrapeso deslocam-se um metro, como representado Figura 5 (b). Com um sistema 2:1, a potência necessária na máquina relativamente ao sistema 1:1 é reduzida para metade. Contudo, envolve a utilização de mais elementos móveis, normalmente na parte inferior da cabina, obrigando a maior precisão na sua instalação.

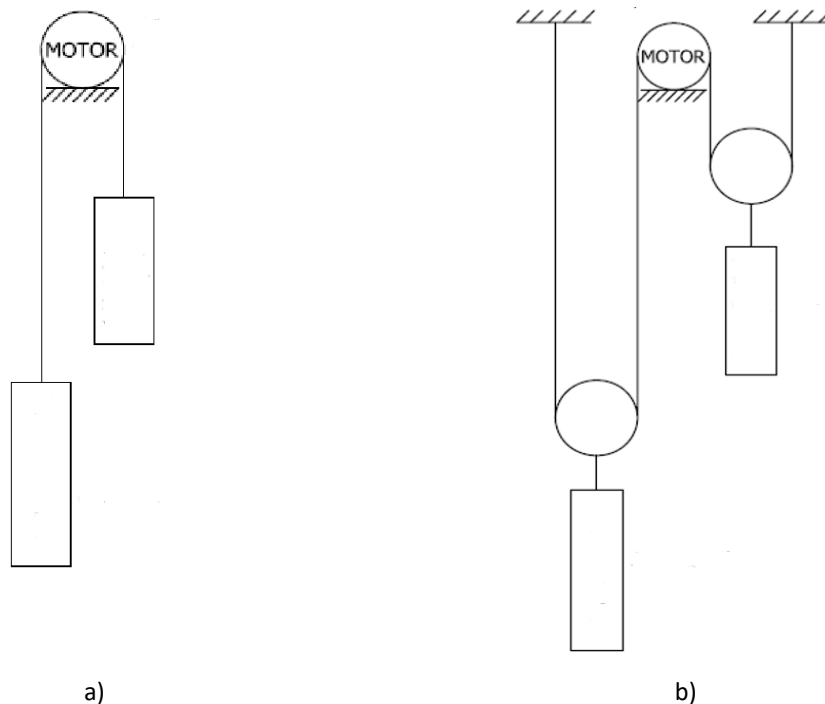


Figura 5 – Sistema elevação 1:1 (a) e sistema de elevação 2:1 (b)

No estudo que se apresenta é considerado um elevador elétrico sem casa das máquinas, com um sistema de elevação 2:1. Este elevador em particular (EP) é equipado com duas rodas de desvio na parte inferior do chassis da cabina, e uma roda de desvio no chassis do contrapeso, nas quais passam cabos que o suportam e movimentam verticalmente. O conjunto de cabos de aço é fixo pelas duas extremidades no cimo do poço do elevador através de amarra-cabos, tal como se mostra na Figura 6. Os amarra-cabos estão equipados com molas que têm como função amortecer os movimentos da cabina e equilibrar a tensão entre os vários cabos.



Figura 6 – Amarra-cabos com mola

Uma das extremidades dos cabos é fixa no cimo do poço a um elemento estrutural designado por “fixa cabos”. A Figura 7 representa a aplicação dos cabos com as molas.



Figura 7 - Fixação de cabos

Os cabos percorrem um trajeto que passa por descer até às duas rodas de desvio da cabina, subindo para a máquina de tração no cimo do poço do elevador e descendo para passar pela roda de desvio do contrapeso. Finalmente, a segunda extremidade dos cabos é fixa no “suporte de máquina” que se encontra no cimo do poço, como representado na Figura 8.



Figura 8 - Fixação de cabos no suporte

Note-se que os amarra-cabos de fixação do lado do suporte não estão equipados com molas de amortecimento. A Figura 9 representa um amarra-cabos sem mola.



Figura 9 - Amarra-cabos sem mola

A movimentação vertical da cabina e contrapeso é comandada pela máquina de tração instalada no cimo da caixa do elevador, na estrutura de suporte. A máquina de tração incorpora uma roda com gornes em “V” que garantem a tração dos cabos. O perfil dos gornes das rodas de desvio e da roda de tração da máquina são diferentes, em função do objetivo para que foram projetados, desvio ou tração. A Figura 10 representa o perfil dos gornes da roda de tração em “V” e a Figura 11 representa o perfil das rodas de desvio (perfil de gorne redondo).



Figura 10 - Perfil de gornes de roda de tração



Figura 11 - Perfil de gornes de roda de desvio

A Figura 12 representa esquematicamente o elevador elétrico sem casa de máquinas com sistema 2:1, podendo-se identificar o suporte da máquina de tração, alvo de estudo neste trabalho.

O suporte de fixação da máquina de tração terá de suportar a máquina assim como todos os esforços estáticos e dinâmicos a que esteja sujeito, com condições de resistência e rigidez mecânica adequadas.

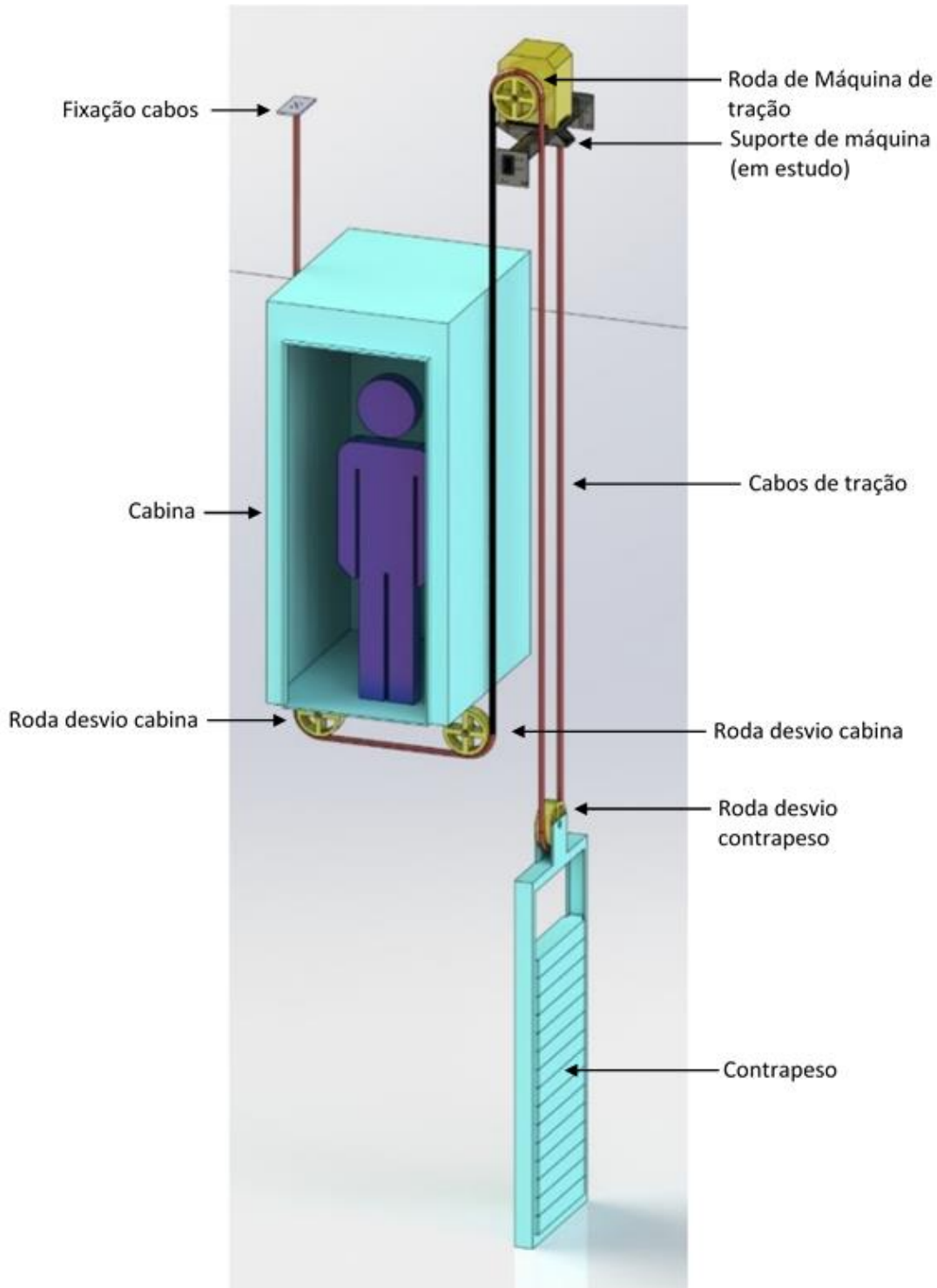


Figura 12 – Esquema de um elevador elétrico sem casa das máquinas com sistema 2:1

Capítulo 3 - Normas e Diretivas em Elevadores

Os elevadores são um meio de transporte vertical de pessoas e carga com milhões de utilizadores diariamente, sendo por isso crucial respeitar a sua regulamentação e garantir a inspeção periódica ao seu funcionamento. Numa revisão recente, o Centro de Normalização Europeia (CEN) publicou a norma EN 81-20:2014 (CEN, EN 81-20 , 2014), específica para elevadores. Esta norma explicita os procedimentos e obrigatoriedades a cumprir por todos os processos intervenientes no projeto de construção, instalação e manutenção de elevadores, visando principalmente a segurança dos utilizadores e das equipas de instalação/manutenção dos equipamentos.

A norma base remete para outras normas existentes, que complementam a sua interpretação e implementação, como por exemplo a norma EN ISO 12100 (ISO, s.d.) - guia para fabricação de máquinas seguras e a Diretiva 2006/42/CE (CONSELHO, 2006) que regulamenta a marcação CE nos equipamentos.

Neste capítulo explicitam-se alguns aspetos relevantes no contexto da normalização de suporte ao desenvolvimento e implementação de elevadores, com destaque para as normas atrás referidas.

A norma europeia EN 81-20 que foi aprovada pelo CEN em 28 de maio de 2014, visa normalizar as regras de segurança para a construção e instalação de elevadores de transporte de pessoas e elevadores de carga. O CEN, também conhecido como *European Committee for Standardization* ou *Comité Européen de Normalisation*, integra organismos nacionais de normalização dos seguintes países: Áustria, Bélgica, Bulgária, Croácia, República Checa, Chipre, Dinamarca, Estónia, Finlândia, Antiga República jugoslava da Macedónia, França, Alemanha, Grécia, Irlanda, Islândia, Itália, Letónia, Lituânia, Luxemburgo, Malta, Noruega, Países Baixos, Polónia, Portugal, Roménia, Eslováquia, Eslovénia, Espanha, Suécia ,Suíça, Turquia e Reino Unido. Tem por isso uma enorme abrangência de aplicação na Europa, refletindo a importância que é dada à normalização de procedimentos de modo a garantir a necessária segurança a pessoas e bens.

A EN 81-20:2014 foi elaborada pela Comissão Técnica CEN TC/10 “Ascensores e monta cargas” cujo secretariado é assegurado pela Associação Francesa de Normalização - AFNOR. Esta norma veio substituir as normas EN 81-1 e EN 81-2 que normalizavam os elevadores elétricos e hidráulicos respetivamente, em vigor até agosto de 2017 (Elevare, s.d.). Em geral baseada nas normas anteriores, a EN 81-20:2014 aumenta as especificações de segurança, tanto para utilizadores como para equipas de manutenção e instalação. Esta necessidade de substituição foi sustentada nos seguintes pontos:

- Melhoria na segurança como consequência das mudanças da tecnologia já comprovada;
- Necessidade de refletir as mudanças ao estado atual da tecnologia;
- Integração dos requisitos principais de segurança e saúde das Diretivas EU aplicáveis;
- Eliminação de erros detetados;
- Clarificação do texto e incorporação de propostas resultante da interpretação dos requisitos;
- Melhoria das referências a outras normas de acordo com a evolução neste domínio.

A EN 81-20 refere na sua introdução que:

“o objetivo da presente norma é definir as regras de segurança relativas aos ascensores de pessoas e carga com a finalidade de proteger as pessoas e carga contra os diferentes riscos de acidentes que podem produzir-se quando da utilização, da conservação e das operações de socorro dos ascensores”.

Refira-se que as versões anteriores da norma EN 81-1 foram incorporadas na EN 81-20, nomeadamente:

- EN 81-1:1985 / 1998 Regras de Segurança para ascensores elétricos;
- EN 81-1:1998 / A1:2005 Integração de Sistema eletrónico programável na segurança dos ascensores;
- EN 81-1:1998 / A3:2009 – Integração de movimento da cabina acidental com as portas abertas.

No contexto do trabalho que se apresenta, refira-se a inclusão da norma específica já existente para elevadores sem casa de máquinas:

- EN 81-1:1998/A2:2004 Integração de ascensores sem casa das máquinas.

Relativamente à análise de riscos, terminologia e soluções técnicas, a EN 81-20 remete em particular para as normas EN ISO 14798, EN 61508 e EN ISO 12100.

A norma EN ISO 14798 estabelece princípios gerais e procedimentos específicos para a avaliação de risco. Disponibiliza procedimentos de decisão para a segurança dos elevadores, com destaque para:

- Projeto, construção, instalação e manutenção de elevadores, componentes e sistemas de elevação;
- Utilização, operação, teste, verificação de conformidade e manutenção de elevadores;
- Desenvolvimento de especificações técnicas e padrões que afetam a segurança dos elevadores.

A norma EN 61508 disponibiliza os procedimentos associados à segurança funcional de todos os sistemas eletrónicos presentes no grupo de elevação.

A norma EN ISO 12100 descreve uma visão geral de procedimentos para o projeto e fabrico de máquinas e equipamentos seguros. O conceito segurança de máquinas considera a capacidade de o equipamento operar no tempo de vida útil, garantindo um risco suficientemente reduzido. Esta norma é um suporte importante para a identificação dos riscos mais relevantes e significativos neste tipo de equipamentos, sendo por isso relevante tanto na fase de projeto como de produção.

Na introdução da norma EN81-20 é indicado que esta é tipo C e que foi elaborada de acordo com o estabelecido na norma EN ISO 12100. As normas do tipo C são as mais exigentes apresentando exigências de segurança detalhadas para diversos grupos de equipamentos, como por exemplo as prensas hidráulicas (EN 693) ou as máquinas embaladoras (EN 415).

A Diretiva 2006/42/CE estabelece que as máquinas que sejam comercializadas ou colocadas em serviço dentro da União Europeia têm que cumprir determinados requisitos essenciais de saúde e segurança. Para que uma máquina possa ser comercializada e colocada em serviço, deve ser acompanhada de uma Declaração CE de Conformidade e ostentar a Marcação CE (IPQ, Marcação CE, s.d.). A Declaração CE de Conformidade é o procedimento de certificação pelo qual o fabricante declara que as máquinas comercializadas satisfazem todos os requisitos essenciais de saúde e segurança correspondentes. Esta diretiva aplica-se a máquinas, componentes de segurança, acessórios de elevação, correntes, cabos e cintas, aos dispositivos amovíveis de transmissão mecânica e às quase máquinas.

Um dos aspetos importantes nesta diretiva refere-se ao risco de rotura em serviço, estabelecendo três pontos essenciais:

1. *“As diferentes partes da máquina, bem como as ligações entre elas, devem poder resistir às solicitações a que são submetidas durante a utilização”;*
2. *“Os materiais utilizados devem apresentar uma resistência suficiente, adaptada às características do ambiente de trabalho previsto pelo fabricante ou pelo seu mandatário, em especial no que diz respeito a fenómenos de fadiga, envelhecimento, corrosão e abrasão”;*
3. *“O procedimento de manutenção exige a existência de um manual de instruções, onde se deve indicar os tipos e a frequência das inspeções e das operações de manutenção necessárias por razões de segurança. Deve indicar ainda, se for caso disso, as peças sujeitas a desgaste, bem como os critérios de substituição.”*

Relativamente à resistência mecânica, o ponto 4.1.2.3 da diretiva 2006/42/CE refere:

“A máquina, os acessórios de elevação e os seus componentes devem poder resistir às tensões a que são submetidos em serviço e, se for o caso, fora de serviço, nas condições de instalação e de funcionamento previstas e em todas as respetivas configurações, tendo em conta, se necessário, os efeitos dos agentes atmosféricos e as forças exercidas pelas

peçoas. Este requisito deve igualmente ser observado durante o transporte, a montagem e a desmontagem.

3.1 - Coeficiente de impacto em Elevadores

A norma EN 81-20 relaciona a área útil máxima da cabina com a carga da cabina para o qual o aparelho foi projetado (carga nominal) e a área útil mínima para transportar o número correspondente de pessoas, baseado numa massa de 75 kg por pessoa, de forma a detetar e evitar a sobrecarga.

Com o equipamento em movimento, e no caso particular dos elevadores, devem ser tidas em conta as acelerações e desacelerações, responsáveis por um aumento brusco das cargas de trabalho. Em termos de segurança, tal como referido atrás, o elevador em estudo está equipado com um dispositivo denominado de para-quedas progressivo, que força a paragem da cabina caso a sua velocidade exceda um determinado valor acima da velocidade nominal. A atuação do para-quedas é garantida por um limitador de velocidade. Para elevadores cuja velocidade nominal é 1m/s, como é o caso do elevador em estudo, é referido no ponto 5.6.2.2.1.1 da norma EN 81-20 que o mesmo deve atuar apenas após a cabina atingir um valor superior a 115% da sua velocidade nominal, mas antes que se atinja uma velocidade de 1,5 m/s.

No caso de a cabina estar a efetuar o movimento descendente, o contrapeso está no movimento ascendente. Havendo uma paragem brusca da cabina, o contrapeso tenderá a manter o seu movimento ascendente vertical, devido à sua inercia. Este movimento será anulado e invertido pela força da gravidade, provocando a descida do contrapeso até a tensão nos cabos imobilizar e equilibrar as forças entre a cabina e o contrapeso. Ora, estas desacelerações bruscas provocam esforços momentâneos mais elevados no equipamento, que têm de ser consideradas como situação extrema de funcionamento.

A norma EN 81.20 considera estas tensões momentâneas para o cálculo de guias através de um coeficiente de impacto. O ponto 5.7.4.1 da norma indica um coeficiente de impacto que está associado ao tipo de componente de segurança do elevador. A Figura 13 mostra

a tabela 14 do ponto 5.7.4.4 da norma EN81.20, onde se deve seleccionar o fator de impacto a considerar nos cálculos. No caso específico do elevador constante deste trabalho, que integra uma *para-quedas de ação progressiva*, o coeficiente de impacto k_1 assume o valor 2.

Caso de impacto	Coefficiente de impacto	Valor
Atuação de um para-quedas de ação instantânea ou	k_1	5
Atuação de um para-quedas de ação instantânea ou de um dispositivo de bloqueio, ambos com roletes, ou de um dispositivo de cunha com amortecedor de acumulação de energia ou de um amortecedor de acumulação de energia		3
Atuação de um para-quedas de ação progressiva, ou de um dispositivo de bloqueio de ação progressiva, ou de um dispositivo de cunha com amortecedor de dissipação de energia, ou de um amortecedor de dissipação de energia		2
Válvula de rotura		2
Deslocamento	k_2	1,2
Equipamentos auxiliares fixados às guias e outros cenários operacionais	k_3	(...) ^a

^a O valor tem de ser determinado pelo fabricante em função da instalação real.

Figura 13 – Coeficiente de impacto considerado pela norma EN81-20

Tendo em conta as indicações expressas das normas, no caso do suporte de máquina do elevador, em estudo neste trabalho, é considerado o fator de impacto 2 associado às cargas de trabalho do elevador.

Capítulo 4 - Caracterização do Suporte de Máquina

Neste capítulo apresenta-se uma caracterização geométrica do suporte de máquina, alvo de estudo neste trabalho, e dos principais elementos estruturais a que esta está ligada. Num elevador sem casa de máquinas, é o suporte da máquina que permite fixar a máquina de tração, que por sua vez irá suportar e movimentar a cabina e o contrapeso, suspensos através de cabos, tal como ilustrado na Figura 12.

O elemento estrutural principal do suporte da máquina é do tipo tubular, com seção retangular. A zona central incorpora uma placa de suporte que é ligada através de cordão de soldadura ao tubo central. Esta placa é reforçada verticalmente através de duas cartelas verticais, ligadas ao tubo central e à placa com cordões de soldadura como representa a Figura 14 em (a). A placa de suporte tem a furação adequada para garantir a montagem da máquina através de ligação aparafusada em quatro pontos. Nos dois topos do tubo central é soldada uma chapa com um conjunto de furações que permitem estabelecer uma ligação flangeada da estrutura de suporte ao topo das guias do elevador, nomeadamente as guias do contrapeso, assim como a fixações à parede. Na zona inferior da placa de fixação da máquina, é soldada verticalmente uma placa furada que estabelece a ligação da estrutura de suporte a uma das guias de cabina, como representa a Figura 14 em (b). Na zona central do tubo, posterior à placa de ligação da máquina e na zona inferior, é soldada uma placa com quatro furos, também com reforço cartelado, que garante a ancoragem dos cabos. A Figura 14 apresenta a estrutura de suporte em estudo.



a)

b)

Figura 14 - Suporte de máquina

Importa referir que neste tipo de elevador, em que não existe uma casa de máquinas típica, o espaço de trabalho e instalação é limitado à dimensão do poço, sendo o suporte da máquina instalado na sua parte superior. Deste modo, o suporte de máquina deve ter em conta a sua produção em estaleiro e a facilidade do seu transporte e movimentação vertical no poço para posicionamento, montagem e apertos adequados.

Para a produção dos componentes mecânicos em fábrica, o setor técnico da EP fornece os desenhos específicos com todas as dimensões e detalhes de fabrico, assim como os materiais a utilizar. Os desenhos técnicos e de apoio ao fabrico do suporte de máquina são apresentados em anexo (Anexo D).

O material utilizado na produção dos componentes que compõem o suporte de máquina é o S235JR, que pelas suas características é amplamente utilizado na construção de diversas estruturas mecânicas. As características mecânicas deste material são definidas pela norma Europeia EN 10025: 2004, estando as principais expostas na Tabela 1.

Tabela 1 - Características mecânicas principais do aço S235JR

Referência	E (GPa)	ν	σ_{ced} [MPa]	σ_{rup} [MPa]
S235 JR	210	0.28	235	360 - 510

O processo de fabrico do suporte de máquina envolve corte, furação e soldadura dos componentes mecânicos que a constituem. O processo de soldadura dos componentes do suporte é feito em processo MAG - Metal Active Gas (CO₂), por soldadores certificados. Depois de todos os elementos soldados, o suporte da máquina é protegido contra corrosão através de um processo de decapagem e pintura.

Para todos os elevadores instalados pela EP é desenvolvido um projeto de instalação específico, referindo dimensões, localização de componentes e as características base do sistema de elevação. No projeto de instalação é possível observar a planta da caixa e

respetivos cortes verticais. A título de exemplo, no Anexo E é apresentado um projeto de Instalação de elevador. Com a expedição do equipamento a partir da fábrica, são também facultados manuais de instalação e manutenção, assim como todos os certificados dos componentes de segurança.

A instalação de elevadores é normalmente executada por duas fases. Na primeira fase são instaladas guias e portas de patamar e numa segunda fase os restantes componentes. Um dos objetivos para que a instalação seja executada por duas fases é diminuir o risco de acidente por queda no poço do elevador, fechando-o com as portas de patamar o mais rapidamente possível. Esta fase da instalação, assume uma importancia vital pois deve garantir que as guias ficam milimetricamente posicionadas e alinhadas na vertical em todo o curso do elevador. Será relativamente às guias que todos os restantes componentes (principalmente as portas de patamar) serão instalados.

A Figura 15 apresenta o suporte de máquina com os elementos circundantes que a fixam e suportam. Como se pode verificar, tal como descrito atrás, o suporte da máquina é suportado por duas guias de contrapeso, uma guia de cabina e duas fixações à parede. Esta é ligada no local através de parafusos de fixação.

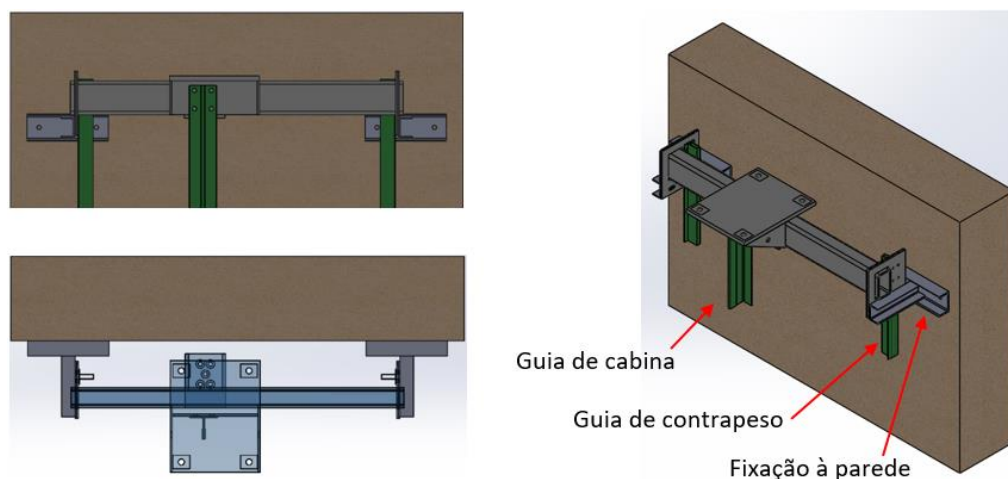


Figura 15 - Fixação do suporte de máquina

As guias instaladas têm um conjunto de furações no seu topo (Figura 16), de modo a posicionar e fixar o suporte da máquina.

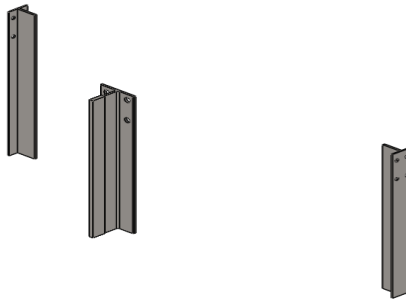


Figura 16 - Furação no topo das guias

Com o auxílio de um guincho localizado no topo do poço do elevador, o suporte é posicionado e aparafusado às guias (Figura 17).

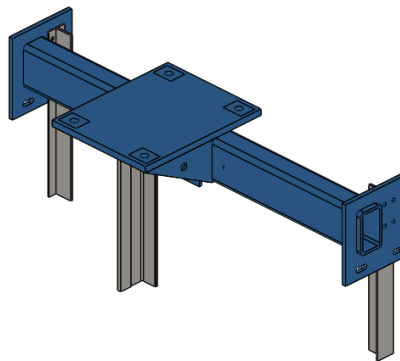


Figura 17 - Posicionamento e fixação de suporte

Por último, o suporte é ancorado através de ligação aparafusada, a dois elementos estruturais que são fixos à parede do poço. (Figura 18).

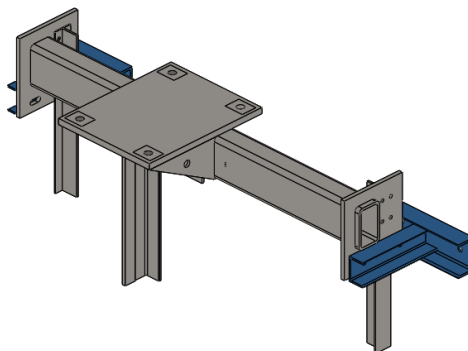


Figura 18 – Suporte ancorado nas guias e fixações laterais de parede

A fixação do suporte de máquina aos restantes componentes é feita através de parafusos de Classe 8.8. Tal como se pode identificar no Anexo G, a EP segue a norma ISO 898/1, tanto na escolha dos parafusos como na definição do binário de aperto. A Figura 19 resume os parafusos associados à fixação do suporte de máquina.



Figura 19 - Parafusos de fixação de suporte de máquina

O aperto dos parafusos é garantido através de chave dinamométrica adequada, de acordo com os valores de pré-tensão da Tabela 2.

Tabela 2 – Aperto de parafusos

Parafuso	Pré-tensão [N.m]
M8	24
M10	47
M12	81

4.1 - Identificação das solicitações no suporte

Um dos aspetos mais importantes do trabalho que se apresenta passa por identificar adequadamente as condições de carga, tanto no contexto da análise experimental, como para implementação do modelo numérico. Além do seu peso próprio, o suporte terá de sustentar o peso correspondente à massa da máquina, do contrapeso, da cabina e das cargas que esta irá transportar.

De acordo com a norma, define-se como P a carga correspondente à massa da cabina vazia, incluindo o seu chassis de fixação e todos os elementos estruturais que a constituem. Define-se como Q a carga nominal, isto é, a massa a transportar na cabina.

As solicitações provenientes da cabina e do contrapeso são descarregadas no suporte pelos cabos de suspensão. Tratando-se de uma instalação 2:1, apenas metade da carga da cabina é sustentada pelo suporte de máquina, sendo a outra metade descarregada na ligação ao poço, designada por fixação de cabos, tal como se pode verificar na Figura 20. Relativamente à carga do contrapeso, toda ela será sustentada pelo suporte de máquina, embora seja descarregada em duas localizações, metade diretamente no suporte e a outra metade na roda da máquina (Figura 20).

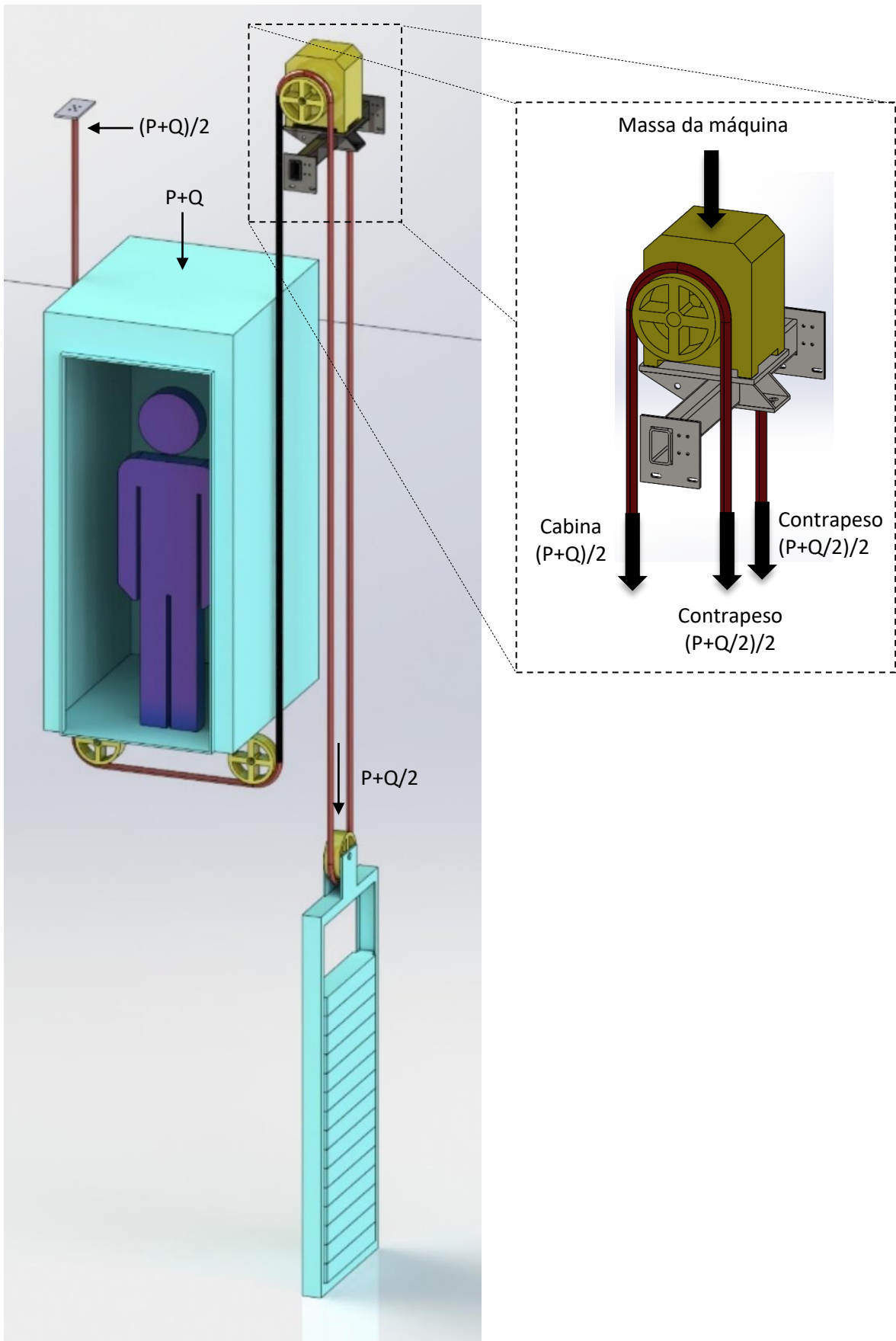


Figura 20 – Cargas aplicadas ao suporte de máquina

As especificações técnicas da empresa, descritas na Figura 21, mostram as massas a considerar para o caso de um elevador de 8 pessoas. A carga de serviço corresponde a uma massa máxima de 630 kg (Q) e a massa da cabina com 800kg (P). A carga do contrapeso é obtida pelo somatório da carga P com 50% da carga de serviço Q. Calculando $(P + \frac{1}{2} Q)$ obtém-se 1115kg como massa a colocar no contrapeso.

LIFT DATA	
Passangers.....	8
Service load (Q) (kg).....	630
Car weight (P) (kg).....	800
Speed (m/s).....	1
Roping.....	2:1
Travel height (m).....	15
Shaft efficiency (%).....	80
Tracction pulley diameter (mm).....	240
Rope diameter (mm).....	6.5
Nº of ropes.....	5
Counterweight balance (%C).....	50
Duty cycle.....	40
Voltage (V).....	380
Compensation chain.....	NO

a)

MOTOR MODEL..... GC150-240-	
MECHANICAL DATA	
Nom. torque motor (Nm).....	350
Max. torque motor (Nm).....	665
Duty cycle (%).....	40
Starts/Hour.....	180
Static load (kg).....	2000
Nominal speed (rpm).....	159,24
Max. speed (rpm).....	225
Machine weight (Kg).....	178

b)

Figura 21 – Especificações técnicas do elevador (a) e da máquina de tração (b).

A Tabela 3 resume as cargas a considerar para um elevador elétrico sem casa das máquinas para 8 pessoas, ou 630kg de carga. Como o equipamento funciona em sistema 2:1, as cargas P+Q e $P + \frac{1}{2} Q$ devem ser divididas por 2, como referido anteriormente na Figura 5.

Devem posteriormente ser multiplicadas pelo coeficiente de impacto K1, que assume o valor 2 para as condições de trabalho, tal como referido anteriormente na Figura 13. Finalmente, considerando a aceleração da gravidade (9,81m/s), obtêm-se os dados correspondentes às solicitações a considerar.

Tabela 3 - Cargas a considerar para a estrutura de suporte de máquina

Carga	Abreviatura	Massa [kg]	Sistema 2:1 (50%)	K1=2	[N]
Cabina	P	800
Carga na cabina	Q	630
Cabina + carga	P+Q	1430	715	1430	14028
Contrapeso	$P + \frac{1}{2} Q$	1115	557,5	1115	10938
Máquina	Máq	178	1746

A Figura 22 resume as cargas a considerar para o suporte de máquina de um elevador elétrico sem casa das máquinas para 8 pessoas ou 630 kg de carga.

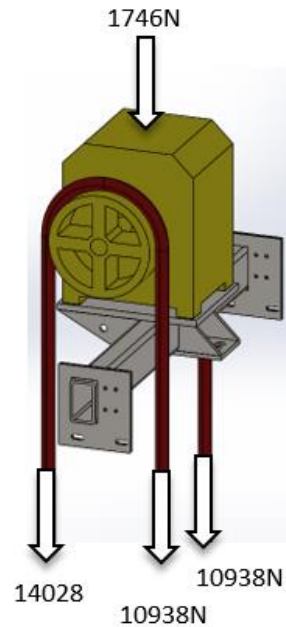


Figura 22 - Cargas aplicadas ao suporte

Importa referir que, de acordo com a norma, o coeficiente de impacto $K1=2$ é para aplicar nos elementos estruturais sujeitos a efeitos que envolvem a aceleração e desaceleração, normalmente associados as falhas que impõem a atuação do sistema de para-quedas. Neste caso a descarga é feita nas guias de suporte, onde o sistema de travamento amarra, não havendo por isso descargas no suporte em estudo. Contudo, por razões de segurança, opta-se por considerar o mesmo fator de impacto na estrutura de suporte.

4.2 - Localização das cargas no suporte de máquina

4.2.1 - Aplicação de força de contrapeso no suporte

A massa do contrapeso está suportada através dos cabos, metade pela roda de tração da máquina e outra metade pelo suporte da máquina. Os cinco cabos são fixos através de amarra-cabos, idênticos aos da Figura 9, que contactam com o suporte através de uma anilha, como representado Figura 23.

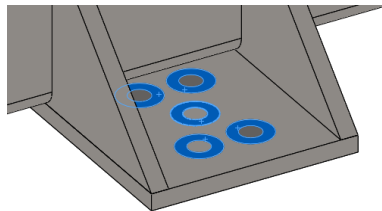


Figura 23 - Área de aplicação de força do contrapeso no suporte

4.2.2 - Aplicação do peso próprio da máquina

A máquina tem quatro sapatas de apoio e fixação, como representado na Figura 24, que são aparafusadas ao suporte, distribuindo a sua carga total pelas quatro áreas em contacto. Note-se que esta fixação da máquina irá conduzir a uma maior rigidez do conjunto máquina-suporte.

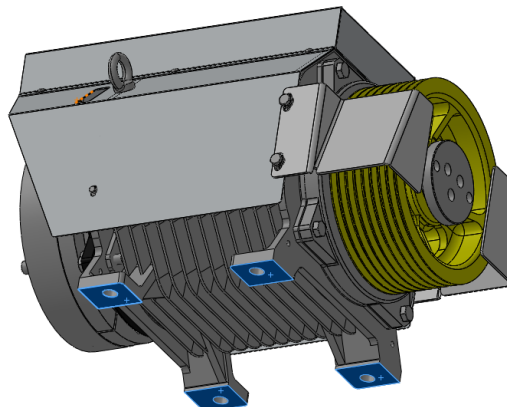


Figura 24 - Áreas de contacto das sapatas da máquina

4.2.3 - Aplicação das cargas da cabina e do contrapeso

As cargas da cabina e contrapeso transferem-se para a máquina através dos cabos em contacto com a roda de tração da máquina. Através da análise dos desenhos técnicos e de medições efetuadas no local, foi possível verificar que o centro da queda de cabos da roda da máquina para a roda do contrapeso, se situa alinhada com as guias de contrapeso e a cerca de 57,5mm da placa de fixação da máquina no suporte. A outra face da placa de fixação da máquina está a 48mm do eixo que passa pelas duas guias, como representado na Figura 25. Tomando este ponto como referência, identifica-se o centro da queda de cabos da roda da máquina para a roda de desvio da cabina, que está localizado a 240mm, que é o diâmetro da roda da máquina e se encontra posicionada perpendicularmente ao eixo que passa pelas guias de cabina. A altura da base de apoio da máquina até ao eixo da roda de tração da máquina é 195mm.

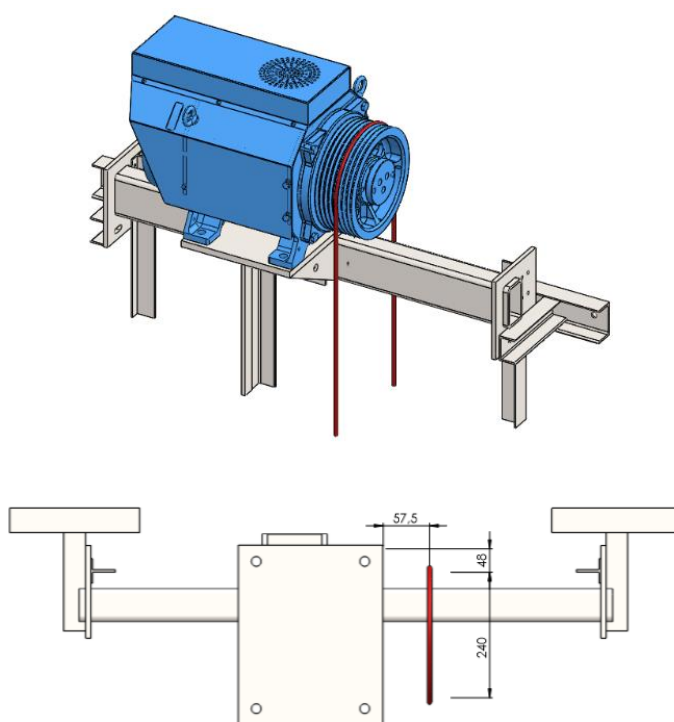


Figura 25 - Localização do centro das cargas de cabina e contrapeso, relativamente ao suporte

A Figura 26 resume as dimensões obtidas.

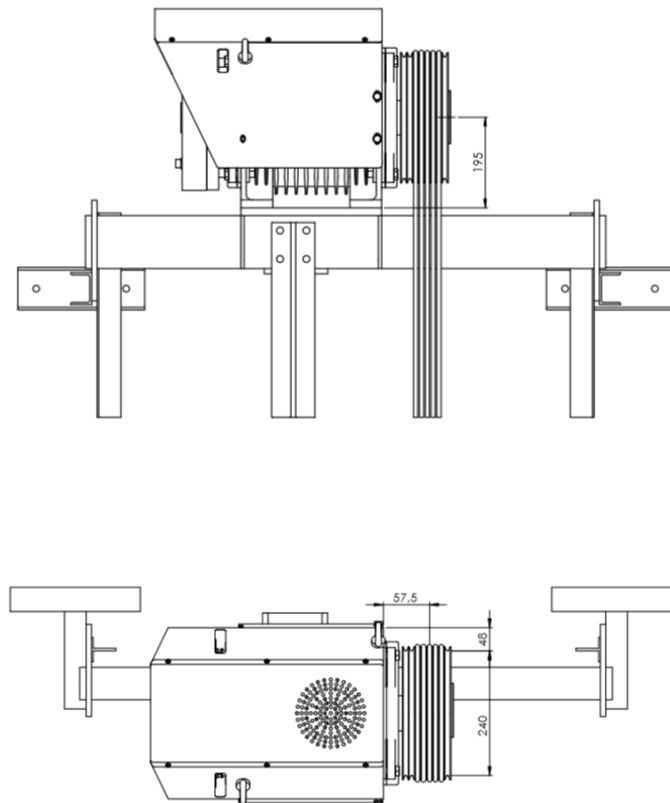


Figura 26 – Centro da queda de cabos na roda da máquina, relativamente ao suporte

Como a roda da máquina não está no centro dos pontos de apoio do motor, as cargas de cabina e contrapeso, irão provocar um momento fletor influenciado pelas distâncias a que essas cargas estão aplicadas, relativamente à fixação no apoio.

Capítulo 5 - Estudo Experimental

O estudo experimental teve como objetivo avaliar o comportamento estrutural do suporte de máquina em situação de funcionamento. Para a implementação desta parte do estudo, a EP disponibilizou a sua torre de ensaio de dois pisos, onde se encontra instalado um elevador SCM de 6 pessoas. Esta torre de ensaio reproduz fielmente o funcionamento do elevador elétrico sem casa das máquinas, com sistema 2:1. A Figura 27 mostra a torre de ensaio da EP, onde foram executados os estudos experimentais.



Figura 27 - Torre de ensaios da EP

O acesso ao suporte de máquina pode ser feito através do teto da cabina, onde está localizada uma consola de comando (Figura 28), que permite movimentar o elevador no modo de “revisão”. Este é o procedimento normal utilizado pelas equipas de manutenção, para se movimentarem dentro do poço do elevador.



Figura 28 - Consola de comando no cimo da cabina

O estudo experimental foi implementado através de análise experimental de tensões, com recurso a extensometria elétrica por resistência. Foram identificadas três zonas de medição, optando-se pela utilização de rosetas extensométricas, de modo a poder caracterizar o campo de deformações nestas zonas. Assim, em cada uma das zonas identificadas foi colada uma roseta, da marca HBM, referência K-RY8-7-45-350-3-3. Esta roseta, pré cablada, é composta por 3 extensómetros posicionados a 45° (Figura 29), tem uma resistência nominal de 350 Ohms e uma grelha ativa de medição de 3mm em cada extensómetro.



Figura 29 - Roseta RY8 (HBM, s.d.)

A Figura 30 mostra o *datasheet* das rosetas consideradas, onde se pode também identificar um factor de ganho de 1,98 para os extensómetros das extremidades da roseta (a, c) e de 1,97 para o extensómetro central.



Figura 30 – *Datasheet* do modelo de roseta utilizado.

A aquisição dos dados das rosetas é feita através de uma ponte extensométrica da marca Vishay, modelo P3 *Strain Indicator and Recorder*. Este equipamento, que se mostra na Figura 31 em (a), disponibiliza 4 canais que permitem a ligação de extensómetros elétricos por resistência em $\frac{1}{4}$ de ponte, $\frac{1}{2}$ ponte ou ponte completa. No caso da aplicação em estudo, cada um dos extensómetros é ligado em $\frac{1}{4}$ de ponte, de acordo com as indicações da Figura 31 em (b). O equipamento permite a visualização e o registo no tempo das deformações que ocorrem em cada um dos extensómetros.

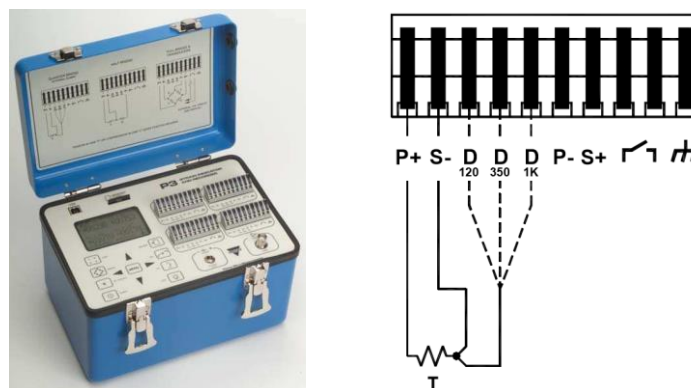


Figura 31 - Model P3 Strain Indicator And Recorder (a) e a ligação em $\frac{1}{4}$ de ponte (b).

Tendo em conta que cada roseta incorpora três extensómetros e que foram utilizadas três rosetas, utilizam-se três dos canais da ponte extensométrica, havendo necessidade de implementar os testes experimentais para cada uma das rosetas de modo separado. A Figura 32 ilustra a ligação típica utilizada em cada ensaio efetuado.

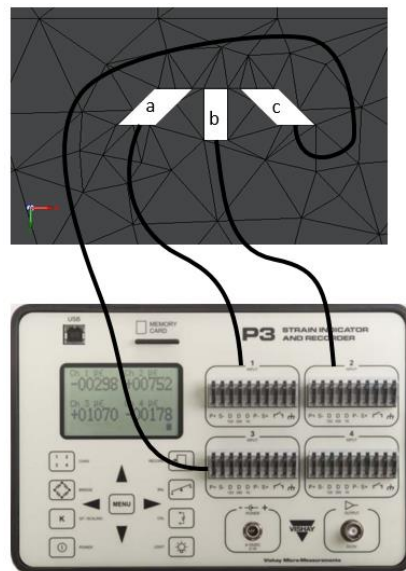


Figura 32 - Ligação de Roseta ao Model P3

Para obter os diferentes valores de deformação nos extensómetros, em função de diferentes cargas aplicadas, foi necessário definir o protocolo de aquisição de dados a seguir, tendo em linha de conta as solicitações a aplicar durante os ensaios. De acordo com as especificações técnicas do produto em ensaio e dos materiais incorporados na cabina, a EP indicou as massas a considerar para a cabina e para o contrapeso. Para a simulação de carga na cabina foram utilizadas massas de betão, cujo peso foi verificado em balança.

A Tabela 4 resume os valores considerados nas cargas a considerar no ensaio experimental.

Tabela 4 - Cargas consideradas no ensaio experimental

Carga	Massa [kg]
Cabina	460
Simulação de carga na cabina	238
Contrapeso	696

Definiram-se os locais para aplicação das rosetas, sensivelmente ao meio do suporte, em faces perpendiculares (em cima, por baixo e de frente). A escolha da posição das rosetas teve em conta a facilidade de acesso, de preparação da superfície e de garantia de uma colagem adequada. Além disso, foram tidos em conta os resultados preliminares do modelo numérico, com observação das zonas mais solicitadas. Foi ainda tido em conta que os locais selecionados para colagem não continham soldaduras nem irregularidades. Definiram-se cuidadosamente os locais de passagem e fixação dos cabos de transporte do sinal proveniente das rosetas para a ponte extensométrica, de modo a estes não colidirem com componentes em movimento durante os ensaios.

A Figura 33 mostra as zonas de aplicação das rosetas, identificadas com sendo A, B, C. Esta figura mostra ainda a face do suporte em que cada uma das rosetas foi colada, sendo possível identificar cada uma das direções dos extensómetros.

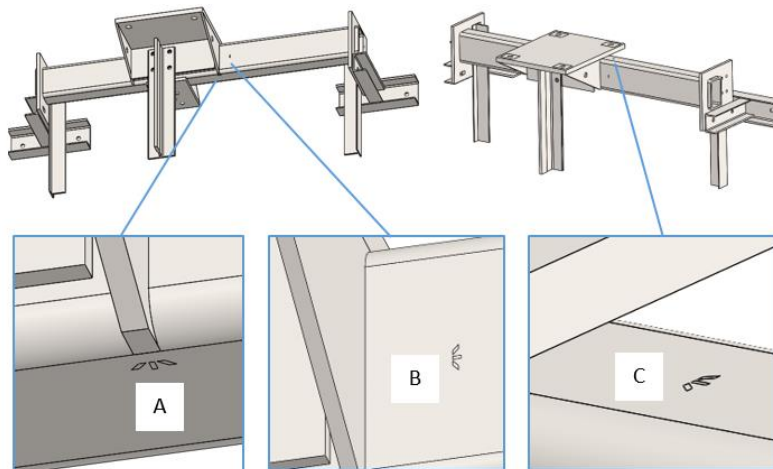


Figura 33 - Localização e direção de rosetas no suporte

A preparação da superfície para colagem foi inicialmente executada com recurso a lixa para metal, de granulometria 400, que permitiu remover localmente toda a tinta superficial, assim como regularizar eventuais defeitos superficiais ao nível macroscópico (Figura 34). Foi ainda usado um desengordurante específico para a aplicação de extensómetros.



Figura 34 - Preparação de zona para aplicação de roseta

A colagem das rosetas na posição desejada foi implementada com transporte e posicionamento através de fita de poliamida. A colagem foi feita com uma cola de cianoacrilato. A Figura 35 ilustra um momento de colagem de uma das rosetas.



Figura 35 - Fixação de rosetas com cola de alto rendimento

Depois de colados os extensómetros, foi verificada a sua adequada instalação, nomeadamente por inspeção visual e garantido que a resistência nominal se encontrava nos parâmetros de tolerância.

Para garantir o controlo e garantia de tratamento correto aos dados, identificaram-se as três rosetas A, B e C, tal como se visualiza na Figura 36

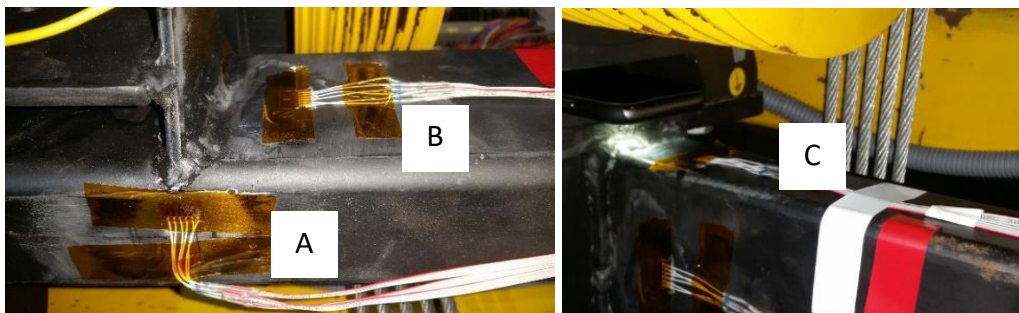


Figura 36 – Localização e identificação de rosetas no suporte

5.1 - Procedimento para aquisição de dados experimentais

De modo a obter a adequada representatividade das condições de funcionamento, e tendo em conta a necessidade de repetir ensaios, foi definido um protocolo de aquisição a seguir. Dado que o elevador se encontrava devidamente montado, não foi possível retirar a carga da máquina ao suporte porque não era tecnicamente viável remover o motor do suporte. Os ensaios experimentais executados consideram por isso a máquina já posicionada. Assim, neste estudo experimental somente serão registadas as deformações correspondentes à aplicação de carga do contrapeso, carga da cabina e da carga no interior da cabina (pesos de betão).

O protocolo experimental pode ser resumido de acordo com as etapas que se registam na Tabela 5 onde se podem identificar as massas consideradas, podendo ser descrito pelo seguinte:

- Calibração dos extensómetros e colocação a zero;
- Alívio da ação da cabina sobre a estrutura de suporte da máquina;
- Alívio da ação do contrapeso sobre a estrutura de suporte da máquina;
- Registo das deformações (Exp1);
- Calibração dos extensómetros e colocação a zero (Exp2);
- Ativação da ação do contrapeso sobre a estrutura de suporte;
- Ativação da ação da cabina sobre a estrutura de suporte;
- Registo das deformações (Exp3);
- Colocação de massas no interior da cabina;
- Registo de deformações (Exp4).
- Remoção de massas no interior da cabina;
- Registo de deformações (Exp5).

Tabela 5 - Procedimento e sequência para aquisição de dados experimentais

Nr	Ensaio experimental	Cargas consideradas [kg]			
		CP	CAB	Pesos	CT
Exp1	Recuperação cabina e contrapeso	0	0	0	0
Exp2	Zero Carga	0	0	0	0
Exp3	Contrapeso + Cabina	696	460	0	1156
Exp4	Contrapeso + Cabina + Pesos	696	460	238	1394
Exp5	Contrapeso + Cabina	696	460	0	1156

Para a primeira fase do ensaio experimental procedeu-se ao alívio da cabina através da sua descida controlada, até esta ficar apoiada num suporte colocado no fundo do poço, tal como representa a Figura 37. Posteriormente, suspendeu-se a carga do contrapeso na estrutura de suporte da torre de ensaio, através de um guincho manual, garantindo assim o alívio da ação do contrapeso, que pode ser visto na Figura 38. Esta primeira etapa permitiu obter os valores da variação na deformação no suporte, na zona instrumentada, provocada pelo alívio das cargas da cabina e do contrapeso (Exp1).



Figura 37 - Tubo de apoio de cabina



Figura 38 – Guincho manual para suspensão de contrapeso

Concluída a primeira fase do ensaio experimental, e após a nova calibração aos extensómetros (Exp2), voltou-se a introduzir a ação da cabina e do contrapeso, através da ação inversa, nomeadamente pela retirada do suporte de cabina e ativação do guincho manual de suspensão do contrapeso. Deste modo foi possível registar as deformações na estrutura de suporte, na zona instrumentada, com a ação conjunta da cabina e do contrapeso (Exp3).

Posteriormente, e para simular um aumento de carga na cabina, foram inseridas massas de betão na cabina, tal como representado na Figura 39, registando-se as deformações resultantes em (Exp4).



Figura 39 - Colocação de pesos para simulação de carga na cabina

Finalmente, foram retiradas as massas de betão de dentro da cabina, ficando novamente a estrutura de suporte apenas submetida à ação da cabina e do contrapeso registando-se as deformações resultantes em (Exp5), completando-se assim o ciclo de carga.



Figura 40 - Aquisição de dados por ensaios de extensometria

Importa reforçar que durante todo o processo de aquisição de dados experimentais a máquina se encontra aplicada ao suporte, não sendo por isso considerada a sua ação. Também a ação do peso próprio da estrutura de suporte não é considerada por dificuldades de operacionalidade experimental.

5.2 - Resultados experimentais

Aplicando o procedimento de aquisição de dados experimentais atrás descrito, obtiveram-se os valores de deformação para cada um dos extensómetros (a, b, c) de cada uma das rosetas (A, B, C). A Tabela 6, Tabela 7 e Tabela 8 resume as deformações obtidas para cada uma das situações.

Tabela 6 - Valores de ensaios experimentais na roseta A

Nr	Ensaio experimental	Roseta A [$\mu\epsilon$]		
		Ext. Aa	Ext. Ab	Ext. Ac
Exp1	Recuperação cabina e contrapeso	27	119	-22
Exp2	Zero Carga	0	0	0
Exp3	Contrapeso + Cabina	-25	-119	23
Exp4	Contrapeso + Cabina + Pesos	-30	-141	18
Exp5	Contrapeso + Cabina	-26	-120	22

Tabela 7 - Valores de ensaios experimentais na roseta B

Nr	Ensaio experimental	Roseta B [$\mu\epsilon$]		
		Ext. Ba	Ext. Bb	Ext. Bc
Exp1	Recuperação cabina e contrapeso	-30	-22	20
Exp2	Zero Carga	0	0	0
Exp3	Contrapeso + Cabina	32	20	-20
Exp4	Contrapeso + Cabina + Pesos	28	23	-16
Exp5	Contrapeso + Cabina	30	20	-20

Tabela 8 - Valores de ensaios experimentais na roseta C

Nr	Ensaio experimental	Roseta C [$\mu\epsilon$]		
		Ext. Ca	Ext. Cb	Ext. Cc
Exp1	Recuperação cabina e contrapeso	48	167	102
Exp2	Zero Carga	0	0	0
Exp3	Contrapeso + Cabina	-44	-161	-100
Exp4	Contrapeso + Cabina + Pesos	-59	-180	-102
Exp5	Contrapeso + Cabina	-45	-160	-98

Comparando as deformações registadas no alívio da ação da cabina e do contrapeso com as obtidas na reativação desta ação, observa-se que estes são muito próximos, mas de valor simétrico. É coerente, pois significa que os valores obtidos ao retirar as cargas da cabina e contrapeso ao suporte de máquina, são equivalentes quando as cargas são novamente aplicadas ao suporte, evidenciando um comportamento elástico da estrutura de suporte nas zonas em análise, tal como seria de esperar.

Comparando as deformações obtidas antes e após aplicar a carga na cabina (pesos de betão), verifica-se a sua elevada proximidade, o que mostra que o suporte não tem memória elástica e recupera rapidamente relativamente à ação da carga na cabina.

Refira-se a coerência nos resultados obtidos, que além de mostrarem as características elásticas da estrutura, estão em linha com os resultados esperados, apresentando baixas gamas de valores de deformação.

5.3 - Cálculo das tensões de von Mises

Determinados os valores de deformação ε obtidos no ensaio experimental, e sendo conhecidas as características mecânicas dos materiais, descritas na Tabela 1 é possível aplicar as leis de transformação, de modo a calcular para as zonas em avaliação experimental as tensões principais (σ_1 e σ_2), através das expressões 1 e 2.

$$\sigma_1 = E \cdot \left[\frac{(\varepsilon_a + \varepsilon_c)}{2 \cdot (1 - \nu)} + \frac{1}{2 \cdot (1 + \nu)} \cdot \sqrt{(\varepsilon_a - \varepsilon_c)^2 + (2 \cdot \varepsilon_b - \varepsilon_a - \varepsilon_c)^2} \right] \quad (1)$$

$$\sigma_2 = E \cdot \left[\frac{(\varepsilon_a + \varepsilon_c)}{2 \cdot (1 - \nu)} - \frac{1}{2 \cdot (1 + \nu)} \cdot \sqrt{(\varepsilon_a - \varepsilon_c)^2 + (2 \cdot \varepsilon_b - \varepsilon_a - \varepsilon_c)^2} \right] \quad (2)$$

Com os valores das tensões principais, é possível calcular as tensões equivalentes de von Mises, através da expressão 3.

$$\sigma_{eq.} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + \sigma_2^2 + (-\sigma_1)^2} \quad (3)$$

Calculadas as tensões principais e as tensões de von Mises com base nos valores de deformação obtidos pelos extensômetros das rosetas nas diferentes condições de carga dos ensaios experimentais, resumem-se os resultados para a roseta A na Tabela 9, para a roseta B na Tabela 10 e para a roseta C na Tabela 11.

Tabela 9 - Tensões equivalentes e de von Mises na roseta A

Nr	Ensaio experimental	Roseta A		
		σ_1 [MPa]	σ_2 [MPa]	Von Mises [MPa]
Exp1	Recuperação cabina e contrapeso	20,26	-18,80	33,84
Exp2	Zero Carga	0,00	0,00	0,00
Exp3	Contrapeso + Cabina	19,46	-20,05	34,22
Exp4	Contrapeso + Cabina + Pesos	20,75	-24,25	39,00
Exp5	Contrapeso + Cabina	19,17	-20,34	34,22

Tabela 10 - Tensões equivalentes e de von Mises na roseta B

Nr	Ensaio experimental	Roseta B		
		σ_1 [MPa]	σ_2 [MPa]	Von Mises [MPa]
Exp1	Recuperação cabina e contrapeso	3,50	-6,42	8,71
Exp2	Zero Carga	0,00	0,00	0,00
Exp3	Contrapeso + Cabina	6,59	-3,09	8,57
Exp4	Contrapeso + Cabina + Pesos	6,31	-2,81	8,09
Exp5	Contrapeso + Cabina	6,24	-3,32	8,41

Tabela 11 - Tensões equivalentes e de von Mises na roseta C

Nr	Ensaio experimental	Roseta C		
		σ_1 [MPa]	σ_2 [MPa]	Von Mises [MPa]
Exp1	Recuperação cabina e contrapeso	37,61	6,14	34,94
Exp2	Zero Carga	0,00	0,00	0,00
Exp3	Contrapeso + Cabina	-5,69	-36,31	33,82
Exp4	Contrapeso + Cabina + Pesos	-6,78	-40,18	37,26
Exp5	Contrapeso + Cabina	-5,70	-36,01	33,53

A Tabela 12 resume as tensões de von Mises obtidas para os diferentes ensaios experimentais, nas rosetas A, B e C. Verifica-se que os resultados obtidos apresentam gamas de tensões com valores relativamente baixos e coerentes relativamente ao comportamento estrutural do suporte de máquina.

Tabela 12 - Tensões de von Mises nas rosetas A, B e C

Nr	Ensaio experimental	Tensões von Mises [MPa]		
		Roseta A	Roseta B	Roseta C
Exp1	Recuperação cabina e contrapeso	33,84	8,71	34,94
Exp2	Zero Carga	0,00	0,00	0,00
Exp3	Contrapeso + Cabina	34,22	8,57	33,82
Exp4	Contrapeso + Cabina + Pesos	39,00	8,09	37,26
Exp5	Contrapeso + Cabina	34,22	8,41	33,53

Capítulo 6 - Estudo numérico de suporte de máquina pelo método de elementos finitos

Este capítulo descreve o modelo numérico que foi desenvolvido para o suporte de máquina, tendo em conta as condições de funcionamento.

Todos os componentes foram modelados de acordo com as dimensões definidas pelos desenhos técnicos da EP. Também as características mecânicas do material se encontram definidas, assim como as solicitações consideradas para o tipo de elevador em análise, tendo em conta a normalização existente.

Com base nos desenhos fornecidos pela EP (anexo D), foram modelados separadamente os vários componentes, que após processo de montagem representa o suporte da máquina, estrutura mecânica em estudo. Foram incluídas no modelo as guias e as fixações à parede, que representam os apoios e fixações do suporte da máquina, tal como representado na Figura 41.

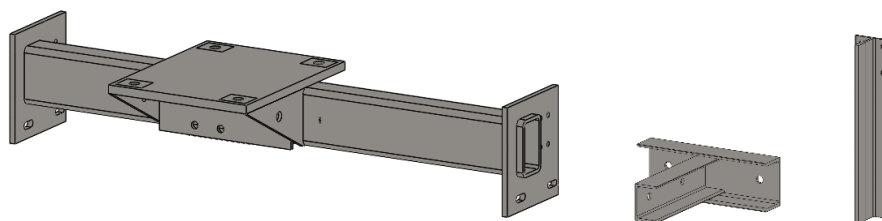


Figura 41 - Componentes modelados em 3D

6.1 - Definição do modelo numérico

Entre o modelo real e o modelo numérico foram introduzidas diversas simplificações, de modo a garantir a adequada definição do modelo. Uma das simplificações envolve as flanges laterais de topo, que no modelo real são duas chapas de 5mm soldadas como representa na Figura 42 a), e que foram simplificadas no modelo numérico para uma só chapa de 10mm como representado na Figura 42 b).

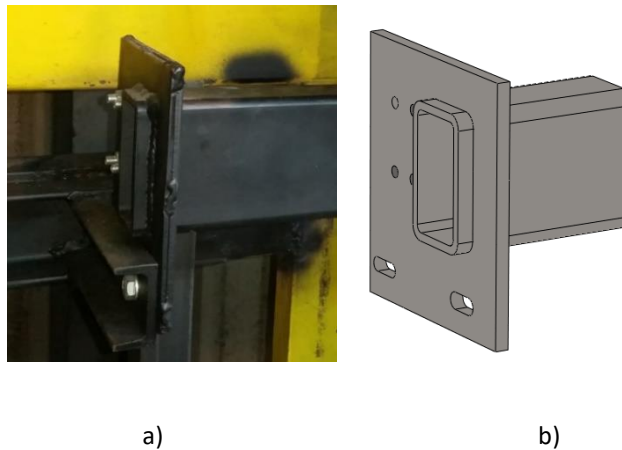


Figura 42 - Chapas soldadas (a) e Modelo simplificado (b).

Os cordões de soldadura também não foram considerados na definição do modelo, como se verifica no exemplo da Figura 43. Optou-se por considerar uma união completa entre as várias superfícies onde exista cordão de soldadura, que em termos numéricos passa por modelar o contacto entre esta superfície do tipo “bonded”. Refira-se que, pese embora o modelo numérico sem os cordões possa conduzir a zonas geométricas mais sensíveis, esta opção é aceitável, desde que se faça a análise de resultados tendo em conta este aspeto.

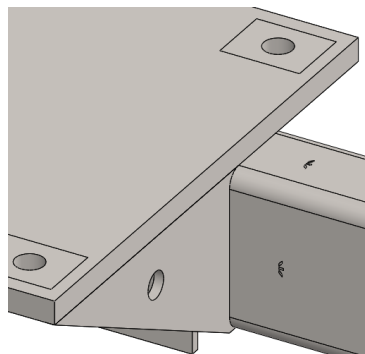


Figura 43 - Modelo numérico sem cordões de solda

Considerando as indicações da EP relativamente aos materiais do suporte, e como referido na Tabela 1, foi considerado o aço estrutural com a referência S235JR, de acordo com a EN 10027-1. O SW tem as características mecânicas deste material na sua base de dados (Figura 44). Destaca-se o valor da tensão de cedência do material, com 235 MPa.

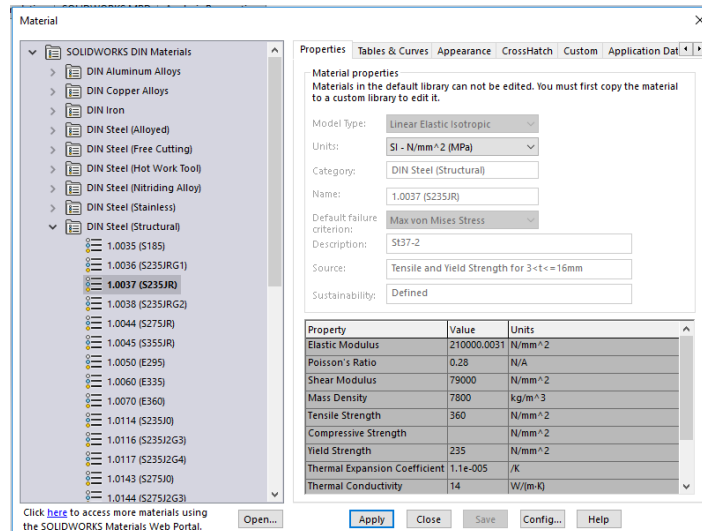


Figura 44 – Seleção do aço S235JR no Solidworks

Apesar da geometria da estrutura de suporte permitir a modelação com recurso a elementos do tipo casca, optou-se por utilizar elementos sólidos tetraédricos com 10 nós. Este elemento, com 4 nós nos vértices e 6 no centro das arestas, modela 3 graus de liberdade por nó, correspondendo às 3 translações nos 3 eixos principais (x, y, z). Este elemento tem a designação de SOLID na biblioteca do software Solidworks, e está representado na Figura 45.



Figura 45 - Elemento SOLID do Solidworks

As condições de fronteira do modelo consideram a restrição de todos os graus de liberdade na face dos elementos estruturais de ancoragem da estrutura de suporte que estão em

contacto com a parede do poço. Os componentes verticais de ancoragem, nomeadamente as guias, são consideradas numa dimensão até à sua fixação à parede, restringindo-se também todos os graus de liberdade na seção virtual de corte destes componentes. As condições de fronteira estão representadas na Figura 46.

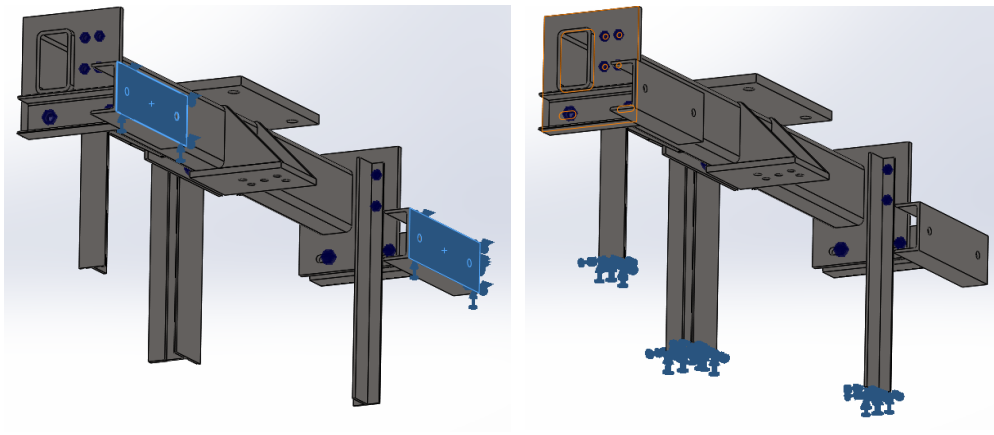


Figura 46 – Condições de fronteira na fixação do suporte à parede (esquerda) e às guias (direita).

O modelo considera dois tipos de contacto entre as suas superfícies geométricas. Assim, tal como referido atrás, nas superfícies de contacto onde existam cordões de soldadura é definida uma condição do tipo “bonded”, equivalente a uma “fusão” entre estas superfícies.

Nas outras superfícies de contacto, nomeadamente entre a estrutura de suporte e as guias e a fixação de parede, dado que não são soldadas ao suporte, mas sim aparafusadas, não ocorre penetração entre os componentes. Assim, entre estas superfícies é definido um contacto do tipo “no penetration”, garantindo as condições reais de contacto entre elas. A Figura 47 apresenta o exemplo de restrição “No penetration” entre a guia e a chapa do suporte.

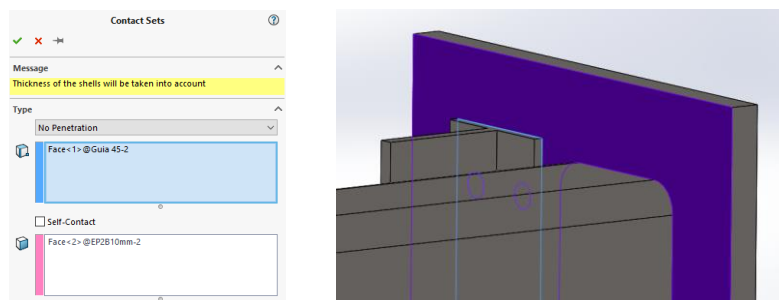


Figura 47 - Contacto entre superfícies do tipo "no penetration"

As conexões entre o suporte em estudo e os componentes de ancoragem (guias e fixação à parede) são implementadas através de parafusos. De modo a simular estas condições, o modelo considera a utilização de parafusos virtuais, com diâmetro nominal de 12 mm (M12), classe 8.8 e com os binários de aperto definidos na Tabela 2. A Figura 48 representa esquematicamente uma dessas ligações.

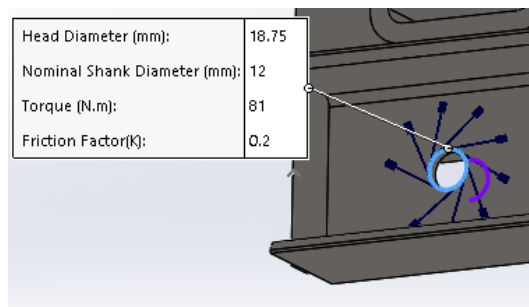


Figura 48 - Pré-carga em ligação aparafusada

As condições de solicitação no modelo consideram dois tipos de carga aplicada, nomeadamente as que são transferidas através da máquina e as que envolvem a ancoragem dos cabos na estrutura.

No caso da máquina, tendo em conta a sua geometria e a complexidade que envolvia a sua consideração em termos geométricos, opta-se por recorrer à funcionalidade do software que permite a atribuição de cargas remotas. Assim, consideram-se as 4 superfícies de ancoragem da máquina no suporte, atribuindo em primeiro lugar o peso próprio do motor, considerado de modo uniforme (Figura 49).

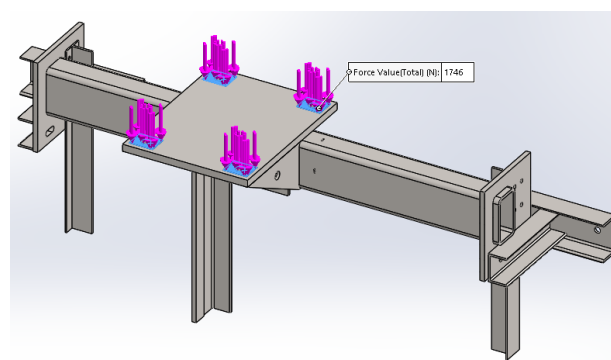


Figura 49 - Carga da massa do motor

As restantes cargas transmitidas através da máquina ao suporte refletem os efeitos de translação e rotação (força e momento resultante devido à distância entre os pontos de fixação da máquina e os pontos de aplicação das cargas na roda). Para esta definição é utilizado o comando “Remote Load” do SW, aplicando as cargas às distâncias definidas entre as áreas de fixação da máquina e aplicação da carga, nomeadamente a posição relativa dos cabos na roda, tal como representado na Figura 50 e Figura 51. Parte destas cargas são provenientes da componente do cabo que é ancorado ao contrapeso e a outra parte é proveniente da componente do cabo que liga à cabina. Importa referir que, nesta fase do modelo de elementos finitos se considera como distância das superfícies à posição da carga remota a posição do cabo central.

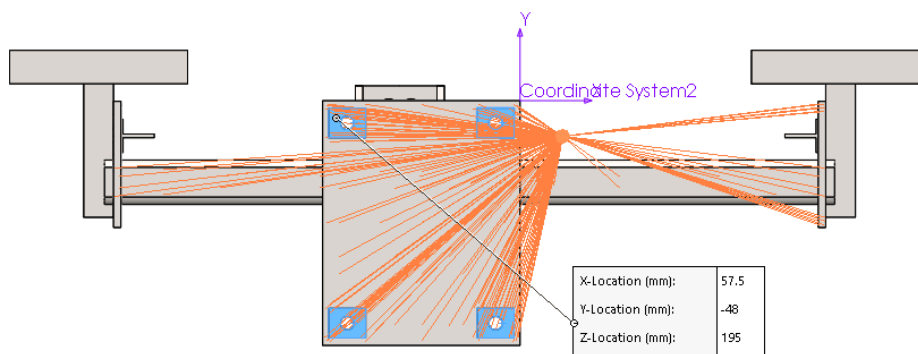


Figura 50 - 1/2 da Carga do contrapeso aplicada à roda de tração do motor

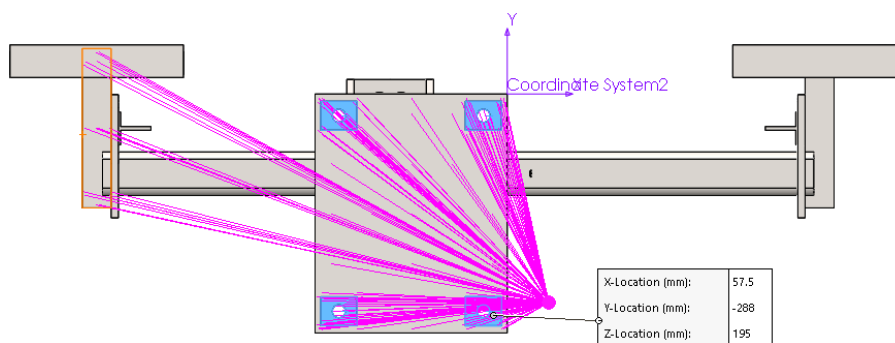


Figura 51 - 1/2 da Carga da cabina aplicada à roda de tração do motor

Metade da carga que envolve o contrapeso é transmitida diretamente ao suporte através das anilhas dos cinco amarra-cabos, tal como representado na Figura 52. Nesta fase do modelo considera-se uma distribuição uniforme da força proveniente do contrapeso nestas cinco superfícies de ancoragem.

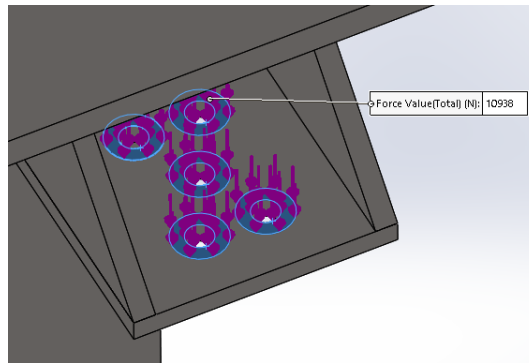


Figura 52 - 1/2 da Carga do contrapeso aplicada aos amarra-cabos

Pretende-se que o modelo numérico represente o modelo real o mais fielmente possível, contudo deve ser tido em conta que haverá pequenas diferenças que poderão causar variação nos dados finais. Algumas das significações consideradas podem ser enumeradas de acordo com o seguinte: a) Pequenas diferenças nas posições e ângulos de aplicação das rosetas, irá afetar os resultados experimentais; b) A não consideração dos cordões de soldadura tende a diminuir a rigidez do modelo; c) O aperto da máquina ao suporte incrementa a rigidez global do conjunto suporte-máquina; d) É possível haver variações de tensão nos cabos dada a reação das molas dos amarra-cabos durante o movimento do elevador; e) Como a roda de desvio da cabina está posicionada a 90° relativamente à roda da máquina, há uma variação do ângulo de saída dos cabos da roda da máquina relativamente à entrada dos cabos na roda de desvio da cabina. Este ângulo varia com a distância do contrapeso ao suporte. Os ângulos são maiores quando o contrapeso se situa mais próximo do suporte, como representado na Figura 53; f) É notória uma variação na verticalidade dos amarra-cabos de fixação no suporte, como se pode verificar na Figura 54.

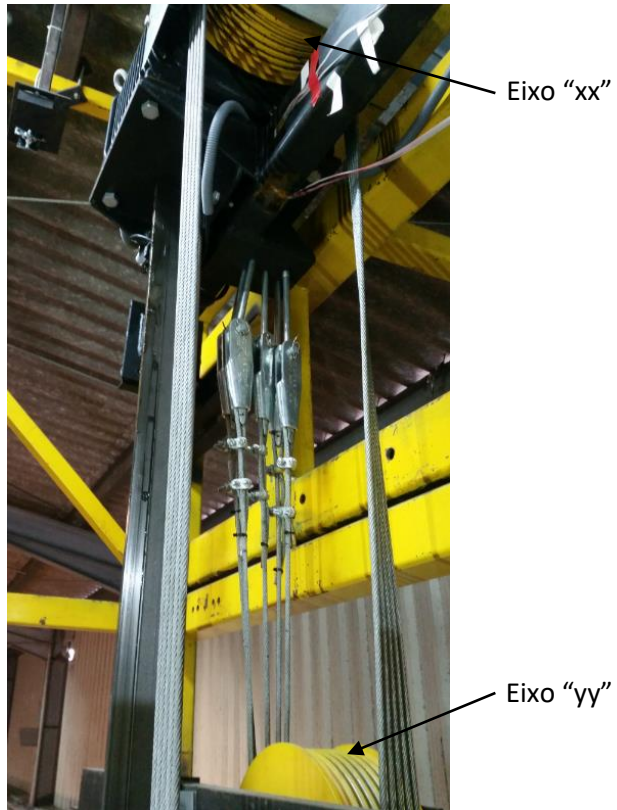


Figura 53 - Variação de ângulo dos cabos entre roda de máquina e roda de contrapeso



Figura 54 - Variação de verticalidade dos amarra-cabos no suporte

A malhagem do modelo é uma etapa crucial para se obter bons resultados numa análise MEF. A geração de malha é o processo em que o domínio é subdividido em pequenos elementos com forma e localização bem definidos. Posteriormente o SW realiza um cálculo para cada um dos nós dos elementos da malha.

Quanto mais pequena for a dimensão dos elementos, maior número de elementos definidos haverá, e conseqüentemente maior será a precisão geométrica. Contudo, com o aumento do número de elementos aumenta também o esforço computacional. Por este motivo é necessário obter o mínimo número de elementos que reproduz uma malha coerente e de qualidade aceitável. A estratégia para obter a malha ótima para o modelo, passa por executar vários estudos, refinando a malha, ajustando a dimensão dos elementos de modo a obter o valor mínimo de elementos que garantem a convergência. Para este estudo de convergência de malha, foram utilizadas as condições de restrição e carga de um elevador de 8 pessoas, que é o modelo final a avaliar. A convergência do modelo é analisada tendo como base a estabilização da energia elástica de deformação, considerando o valor do deslocamento máximo do modelo.

A Figura 55 ilustra a distribuição dos deslocamentos resultantes do modelo, para uma etapa associada ao estudo de convergência de malha.

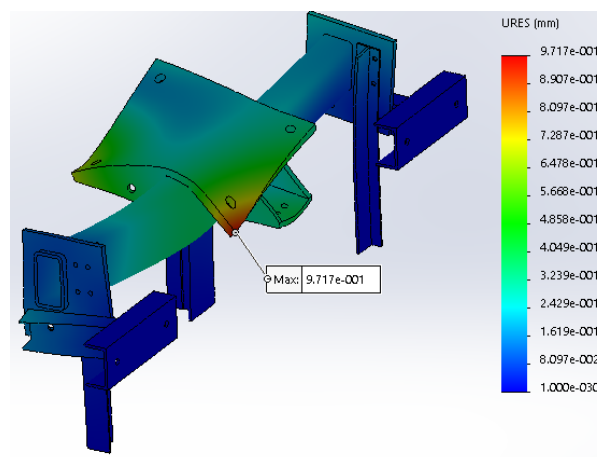


Figura 55 - Deslocamento máximo

A Tabela 13 resume os primeiros resultados obtidos com a variação da dimensão do elemento considerado. Relacionando o número de elementos do modelo com o máximo deslocamento resultante, obtém-se a representação da Figura 56.

Tabela 13 - Resultados dos vários estudos iniciais de convergência de malha

Nome do estudo	2	3	4	5	6	7	8	9
Total de elementos	14557	16413	20250	29175	59462	107163	353191	627081
Deslocamento [mm]	0,876	0,908	0,922	0,936	0,958	0,967	0,979	0,982
Erro relativo deslocamento [%]		3,5%	1,5%	1,5%	2,3%	1,0%	1,2%	0,3%
Aumento de número de elementos [%]		113%	123%	144%	204%	180%	330%	178%

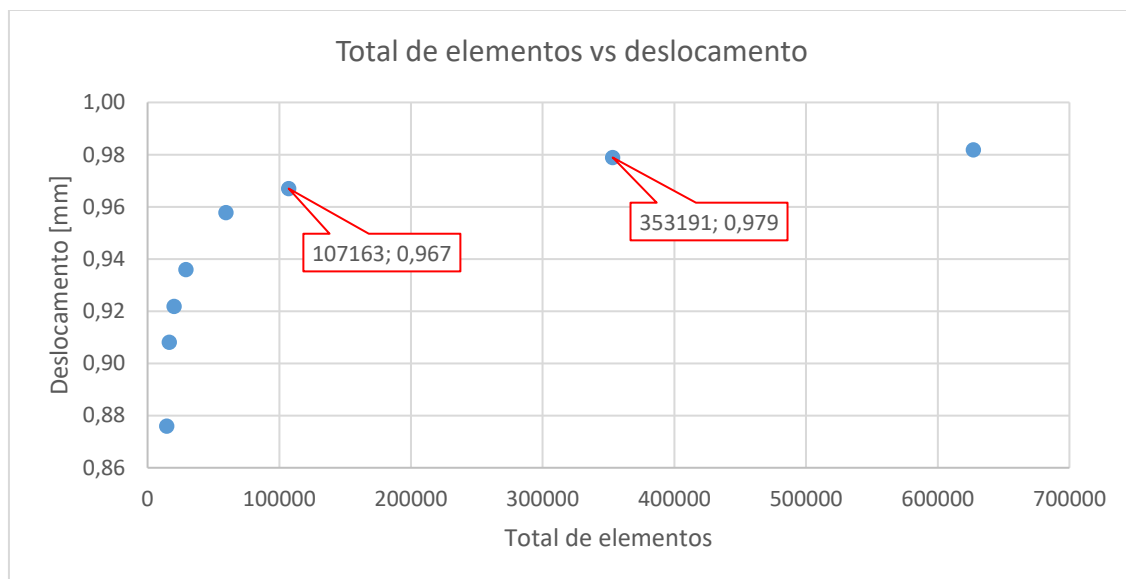


Figura 56 - Total de elementos vs deslocamento

Analisando os dados, observa-se que após o estudo 7 com 107163 elementos, a variação do deslocamento tende a convergir relativamente ao estudo 8 com 353191 elementos. Note-se que entre o estudo 7 e 8, apesar do número de elementos aumentar 330%, o erro relativo ao deslocamento é 1,216%. Como se verifica, um significativo aumento do número

de elementos entre o estudo 7 e 8, interessa compreender o que acontece neste intervalo, sendo necessário um estudo intermédio. Para este novo estudo, denominado 7-5, definiu-se o tamanho de elemento de 6,25mm. Note-se que o estudo 7 tinha 7,5mm e o estudo 8 tinha 5mm de tamanho de elemento. Os novos resultados são descritos na Tabela 14 e ilustrados sob forma de gráfico na Figura 57.

Tabela 14 - Dados dos vários estudos de malha (refinado)

Nome do estudo	2	3	4	5	6	7	7-5	8	9
Total de elementos	14557	16413	20250	29175	59462	107163	173952	353191	627081
Deslocamento [mm]	0,876	0,908	0,922	0,936	0,958	0,967	0,972	0,979	0,982
Erro relativo deslocamento [%]		3,5%	1,5%	1,5%	2,3%	1,0%	0,5%	0,7%	0,3%
Aumento de número de elementos [%]		113%	123%	144%	204%	180%	162%	203%	178%

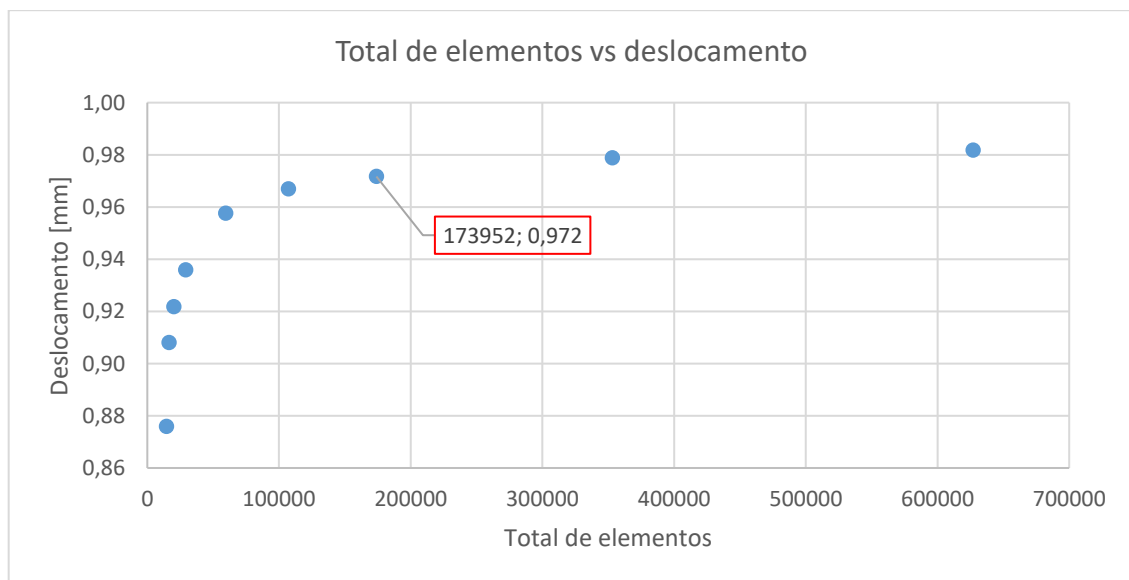


Figura 57 - Total de elementos vs deslocamento (refinado)

Perante os resultados obtidos, considera-se uma estabilização e convergência do modelo para uma dimensão média de 6,25 mm. A Figura 58 apresenta uma visualização da malha convergida.

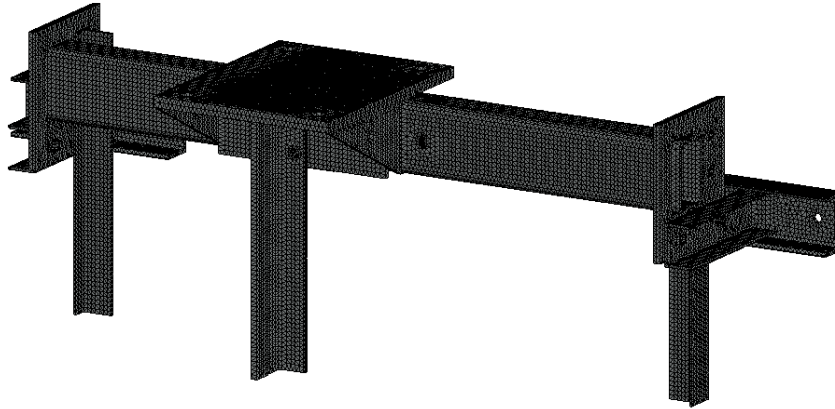


Figura 58 - Malha convergida

Para melhorar a precisão dos valores nas zonas de aplicação das rosetas, e assim permitir uma comparação com os resultados experimentais, foram modeladas figuras com as dimensões e inclinações iguais aos extensómetros. Desta forma garante-se um nó da malha em cada um dos vértices dos extensómetros. A Figura 59 ilustra uma destas modelagens.

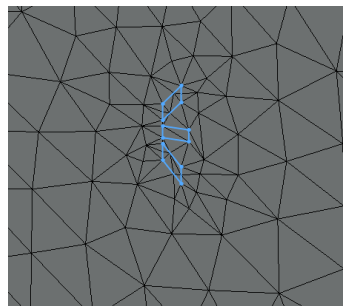


Figura 59 - Modelagem de extensómetros na malha do modelo

6.2 - Validação de modelo numérico

Para verificar se o modelo numérico reflete as condições experimentais, executou-se um estudo numérico simulando o ensaio experimental “Exp3”, no qual foram aplicadas as condições de carga “cabina + contrapeso”. A Figura 60 ilustra a distribuição das tensões de von Mises no modelo.

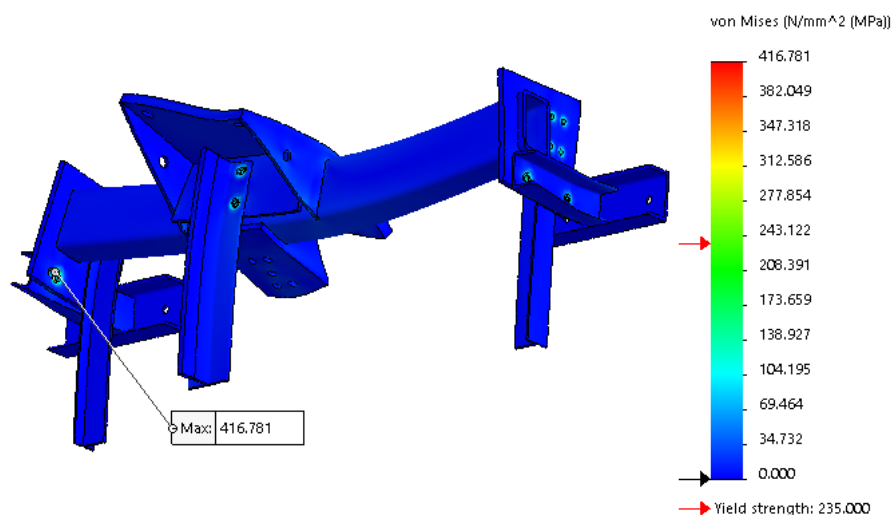


Figura 60 - Distribuição de tensões da simulação de ensaio "Exp3"

A identificação dos valores das tensões de von Mises nas zonas de instrumentação, é feita com recurso ao comando “probe” do software. A Figura 61 ilustra o procedimento, para uma das rosetas, onde se consideram os nós das zonas dos extensómetros da roseta, obtendo-se um valor médio. Este primeiro estudo numérico é denominado de “Num1”.

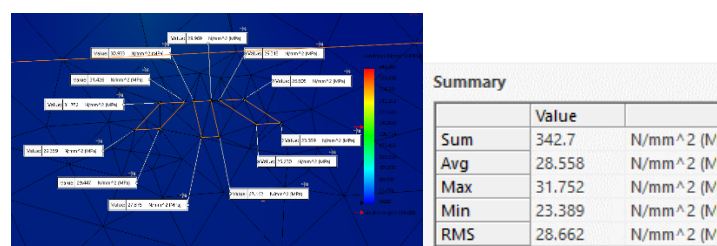


Figura 61 - Aquisição de tensões de von Mises nas localizações das rosetas

A Tabela 15 compara os resultados calculados numericamente “Num1” com os registados no ensaio experimental “Exp3”, estando expresso o erro relativo entre estes valores, calculado de acordo com a expressão (4).

$$Erro (\%) = \frac{Experimental - Numérico}{Experimental} \cdot 100 \quad (4)$$

Tabela 15 - Comparação das tensões von Mises obtidas pelo ensaio "Exp3" e ensaio "Num1"

Nr	Ensaio / Estudo	Roseta A	Roseta B	Roseta C
Exp3	Ensaio experimental: Cabina + Contrapeso [MPa]	34,22	8,57	33,82
Num1	Estudo numérico: Cabina + contrapeso [MPa]	28,07	6,30	23,48
Erro relativo entre estudo "Num1" e ensaio experimental "Exp3" [%]		18,0%	26,5%	30,6%

Tal como se pode observar nos resultados obtidos, verificaram-se variações significativas entre as tensões de von Mises obtidas pelo ensaio experimental e as calculadas no estudo numérico. No caso da roseta C verificou-se uma diferença superior a 30%. Nestas condições o modelo numérico não é aceitável, sendo necessário proceder a um updating (ajuste) ao modelo, aproximando os resultados numéricos dos experimentais.

O primeiro ajuste ao modelo envolveu a análise da sensibilidade quanto ao posicionamento da carga dos cabos na roda do motor. Questionou-se se a carga dos 5 cabos concentrada por simplificação num só ponto intermédio teria influência nos resultados obtidos. Deste modo foram inicialmente distribuídas de modo uniforme as cargas pelos 5 cabos, tal como se representa na Figura 62. Os resultados obtidos, que se apresentam na Tabela 16 não evidenciam alterações significativas, não parecendo ser esta uma das opções de updating a considerar.

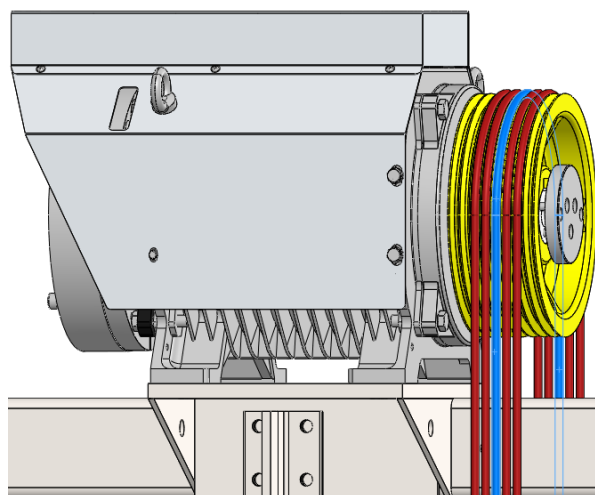


Figura 62 - Cargas na máquina distribuídas pelos 5 cabos

Tabela 16 - Comparação das tensões von Mises obtidas pelo ensaio "Exp3" e ensaio "Num2"

Nr	Ensaio / Estudo	Roseta A	Roseta B	Roseta C
Exp3	Ensaio experimental: Cabina + Contrapeso [MPa]	34,22	8,57	33,82
Num2	Estudo numérico: Cabina + contrapeso, com cargas na máquina divididas pelos 5 cabos [MPa]	27,83	6,20	23,21
Erro relativo entre estudo "Num2" e ensaio experimental "Exp3" [%]		18,7%	27,7%	31,4%

De seguida, questionou-se se a carga dos cabos deslocada lateralmente na roda da máquina teria influência nos resultados. Deste modo, admitiu-se que a totalidade da carga poderia se descarregada na roda na posição do cabo mais afastado para a esquerda, ou para a direita, tal como ilustrado na Figura 63. Os resultados obtidos Tabela 17 mostram não haver aproximação com os registos numéricos, não evidenciando *updating* no modelo.

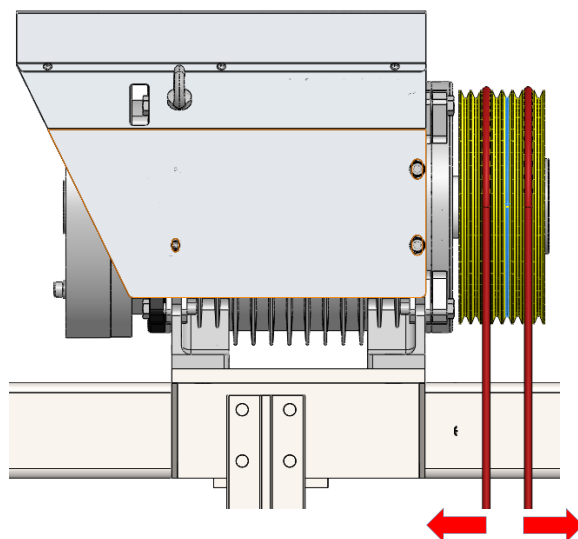


Figura 63 - Cargas na roda de máquina deslocadas para a esquerda / direita

Tabela 17 - Comparação das tensões von Mises obtidas pelo ensaio "Exp3" e ensaios "Num3" e "Num4"

Nr	Ensaio / Estudo	Roseta A	Roseta B	Roseta C
Exp3	Ensaio experimental: Cabina + Contrapeso [MPa]	34,22	8,57	33,82
Num3	Estudo numérico: Cabina + contrapeso, com cargas na roda de máquina deslocadas para a esquerda [MPa]	26,18	6,00	22,30
Num4	Estudo numérico: Cabina + contrapeso, com cargas na roda de máquina deslocadas para a direita [MPa]	30,02	6,61	24,67
	Erro relativo entre estudo "Num3" e ensaio experimental "Exp3" [%]	23,5%	30,0%	34,1%
	Erro relativo entre estudo "Num4" e ensaio experimental "Exp3" [%]	12,3%	22,9%	27,1%

Posteriormente foi questionada a variação do posicionamento da carga no suporte, principalmente devido à influência da inclinação dos amarra-cabos, como se verificou na Figura 54. Deste modo foi considerada uma situação de distribuição não uniforme, considerando três zonas de assentamento. Assim, considerou-se o modelo com uma distribuição de 1/3 – 1/3 – 1/3 da carga do contrapeso aplicada pelos 5 amarra-cabos, como demonstra a Figura 64.

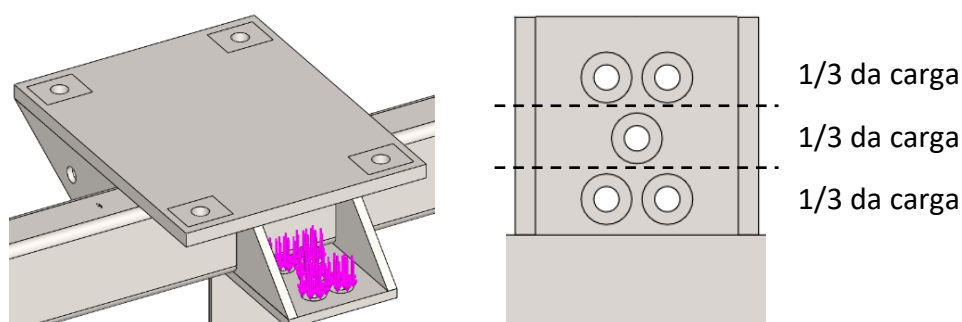


Figura 64 - Distribuição da carga do contrapeso no suporte 1/3 - 1/3 - 1/3

A Tabela 18 resume os resultados obtidos. Tal como se pode observar, o ajuste para uma distribuição da carga com 1/3-1/3-1/3 aproxima os resultados do modelo numérico com erros relativos inferiores a 15%. Sendo erros considerados ainda elevados, este estudo "Num5", sugere que a distribuição da carga do contrapeso no suporte não uniforme, tem influência nos resultados.

Tabela 18 - Comparação das tensões von Mises obtidas pelo ensaio "Exp3" e ensaio "Num5"

Nr	Ensaio / Estudo	Roseta A	Roseta B	Roseta C
Exp3	Ensaio experimental: Cabina + Contrapeso [MPa]	34,22	8,57	33,82
Num5	Estudo numérico: Cabina + contrapeso, com cargas de CP não uniformes (1/3-1/3-1/3) [MPa]	32,16	8,21	29,10
Erro relativo entre estudo "Num5" e ensaio experimental "Exp3" [%]		6,0%	4,2%	14,0%

Considerou-se uma outra distribuição da carga como 1/5-1/5-3/5, como representa a Figura 65.

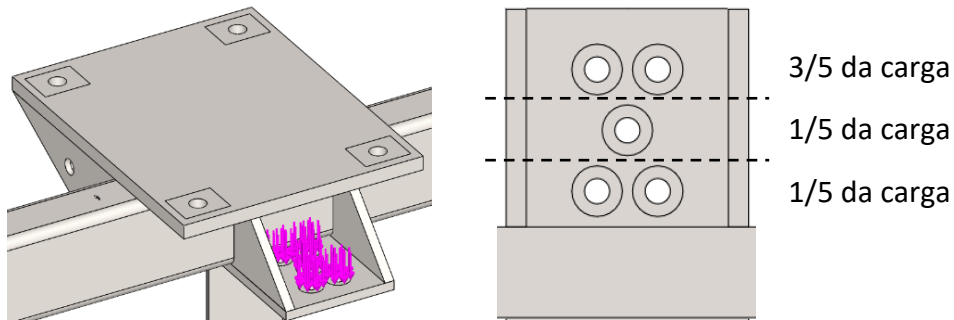


Figura 65 - Distribuição da carga do contrapeso no suporte 1/5 - 1/5 - 3/5

A Tabela 19 resume os resultados obtidos. Tal como se pode observar, o ajuste para uma distribuição da carga com 1/5-1/5-3/5 aproxima os resultados do modelo numérico com erros relativos inferiores a 9%, sendo aceitáveis para as condições do modelo, e estando em linha com os erros habitualmente existentes na literatura para este tipo de análise. Note-se que no caso da Roseta B, com um erro absoluto de 8,3% as tensões são relativamente baixas, na ordem dos 9 MPa.

Tabela 19 - Comparação das tensões von Mises obtidas pelo ensaio "Exp3" e ensaio "Num6"

Nr	Ensaio / Estudo	Roseta A	Roseta B	Roseta C
Exp3	Ensaio experimental: Cabina + Contrapeso [MPa]	34,22	8,57	33,82
Num6	Estudo numérico: Cabina + contrapeso, com cargas de CP não uniformes (1/5-1/5-3/5) [MPa]	34,19	9,28	31,48
Erro relativo entre estudo "Num6" e ensaio experimental "Exp3" [%]		0,1%	-8,3%	6,9%

O gráfico da Figura 66 demonstra a aproximação dos resultados obtidos pelo ensaio experimental "Exp3", aos resultados obtidos pelo estudo numérico "Num6".

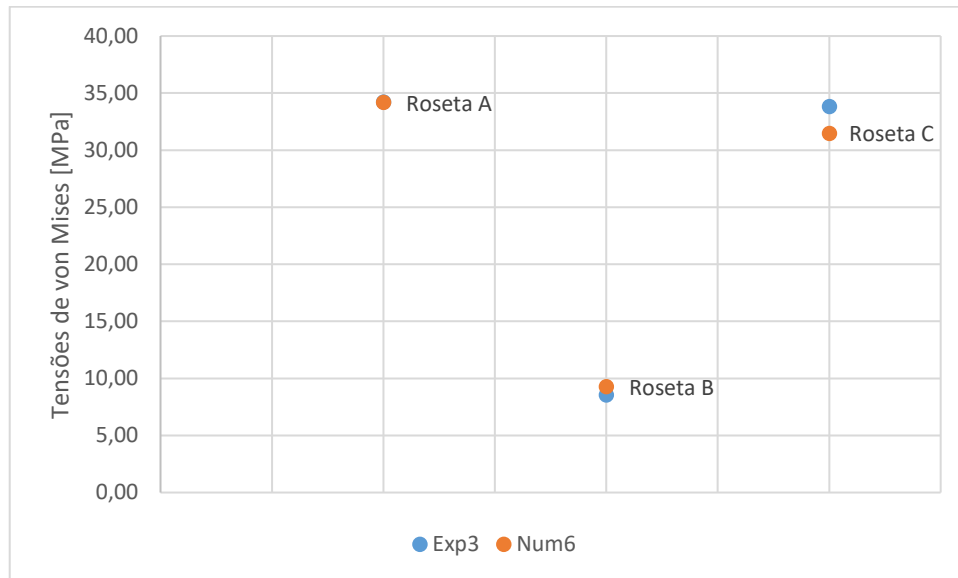


Figura 66 - Tensões de von Mises "Exp3" vs "Num6"

Deste modo, considera-se o modelo final ajustado a esta nova distribuição das cargas do contrapeso no suporte de 1/5 - 1/5 - 3/5.

6.3 - Resultados numéricos em condições limite de solicitação

Validado o modelo numérico, estão reunidas as condições para aplicar as condições limite de solicitação ao suporte e estimar o seu comportamento estrutural. Consideram-se assim as cargas máximas que previsivelmente irão atuar no suporte, como resumido na Figura 22, para um elevador com 8 pessoas. A Figura 67 apresenta a distribuição de tensões de von Mises para as condições limite de solicitação.

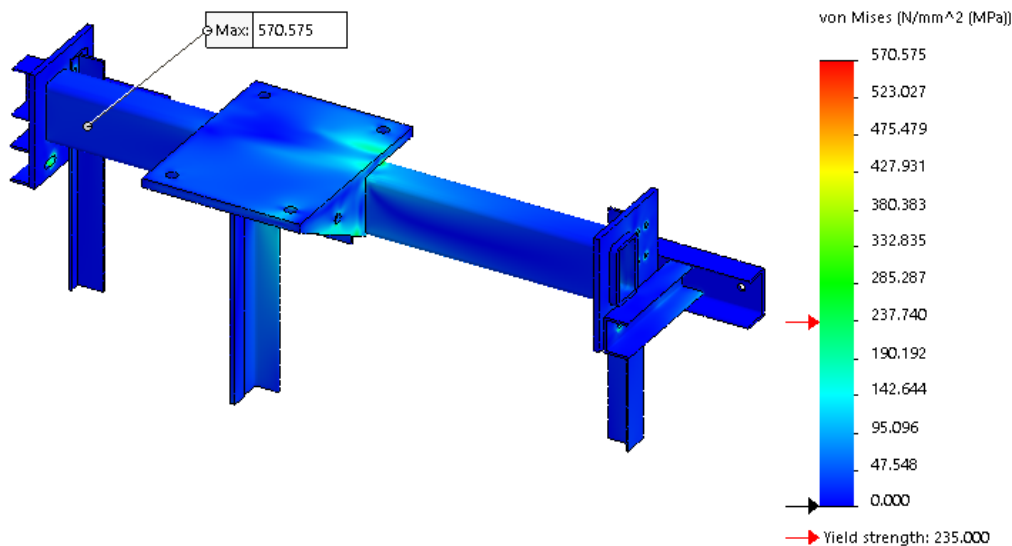


Figura 67 - Distribuição de tensões de von Mises com aplicação de carga máxima

Analisando os valores das tensões de von Mises, observa-se uma tensão máxima de 570MPa, valor superior ao limite elástico do material. No entanto, uma observação em detalhe mostra que este valor de tensão ocorre na zona de aperto da estrutura à guia, sendo devida essencialmente ao binário de aperto do parafuso, indicado pela norma, e estando localizada numa zona muito restrita.

De modo a observar o que se passa na estrutura, apresentam-se na Figura 68 os isovalores das tensões de von Mises com resultados superiores a 235 MPa, limite de cedência do material. Este procedimento permite isolarmos as zonas onde as tensões superam este

limite, sendo possível observar que, à semelhança da tensão máxima, todas as tensões mais elevadas se encontram muito localizadas nas zonas de aperto dos parafusos e nas zonas de soldadura das chapas ao tubo central.

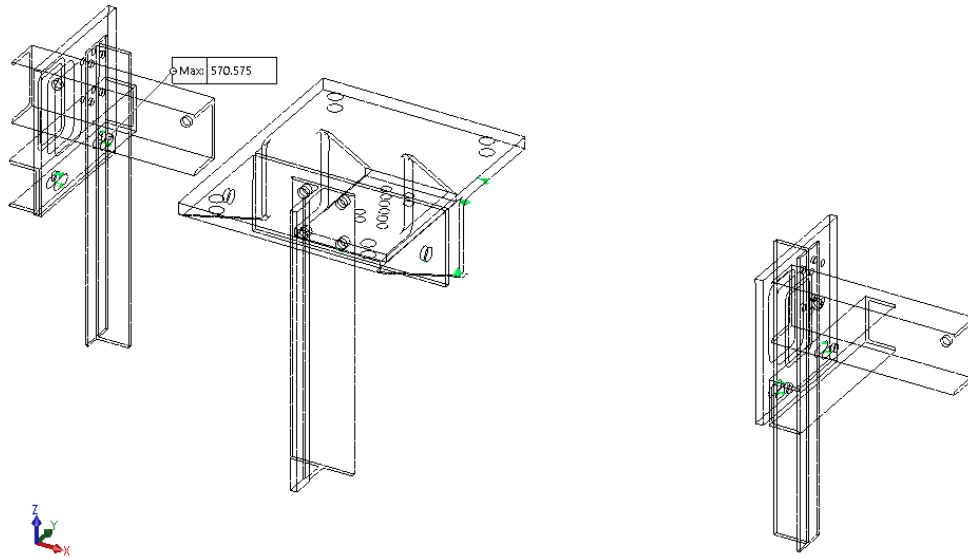


Figura 68 - Resultados do Iso Clipping

As elevadas tensões localizadas que se verificam na zona de aperto do suporte à fixação de parede, como se verifica na Figura 69, são causadas pela aplicação da pré-tensão de aperto, como referido na Tabela 2. A geometria dos componentes com ângulos severos, também favorece a concentração de tensões. No entanto, numa situação de montagem em contexto real, ocorrerá uma plastificação localizada com adaptação do material, normal para este tipo de situação.

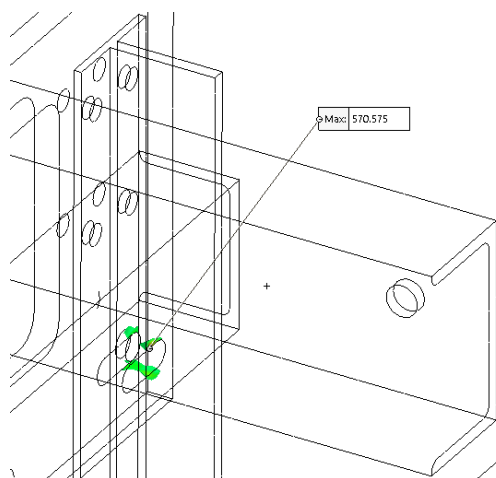


Figura 69 - Concentração de tensões nas zonas aparafusadas

Relativamente à concentração de tensões localizada entre o tubo central e a chapa de apoio do motor, como se verifica na Figura 70 devem-se à ausência do cordão de soldadura, que não foi considerado no modelo. Na realidade, o cordão de soldadura aumenta o volume de material e elimina ângulos severos entre os componentes. Assim, tendo em conta a restrição destas zonas, muito limitadas e correspondendo a poucos elementos, não parece estar comprometida a resistência mecânica da estrutura de suporte para as condições de utilização. Recorde-se que para este estudo foram consideradas as cargas máximas, incluindo o coeficiente impacto $K=2$.

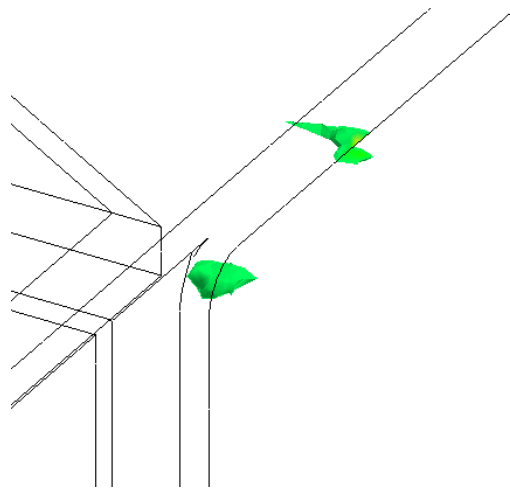


Figura 70 - Concentração de tensões entre tubo central e chapa

A Figura 71 apresenta a distribuição dos deslocamentos resultantes no modelo, identificando-se um valor máximo de 1,287mm. Apesar de este valor ser relativamente baixo, ocorre numa extremidade da placa de suporte e aperto da máquina. Ora, refira-se que não é considerada a máquina, o que na realidade representará uma rigidez mais elevada na placa de suporte. Estabelecendo a relação entre o comprimento do tubo central resistente, que é de 984mm (anexo D) e o deslocamento máximo obtido de 1,287mm, obtem-se o valor de 764.

Assim, considerando os resultados obtidos, pode-se afirmar que a estrutura de suporte da máquina apresenta a rigidez adequada para as condições de funcionamento e simplificações consideradas.

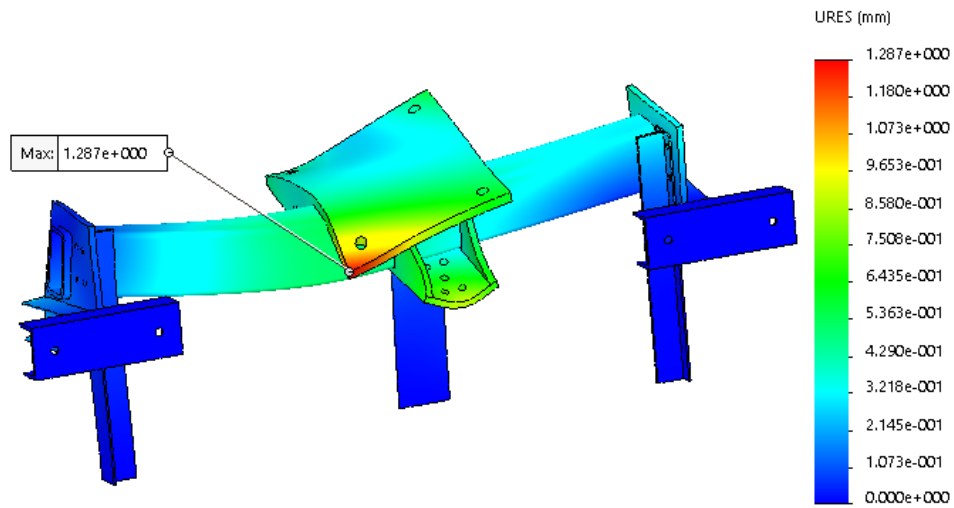


Figura 71 - Distribuição dos deslocamentos resultantes no modelo

Capítulo 7 - Conclusões

Neste trabalho de projeto foi estudada uma estrutura de suporte da máquina de um elevador sem casa de máquinas, com sistema 2:1. O estudo envolveu uma análise experimental e a implementação de um modelo numérico de elementos finitos para previsão do comportamento estrutural do suporte.

Os resultados obtidos experimentalmente, em contexto real de funcionamento da estrutura de suporte, além de permitirem identificar o campo de deformações nas zonas instrumentadas, serviram como ferramenta de ajuste e validação do modelo numérico de elementos finitos.

No estudo numérico foi implementado um modelo para simular as condições de funcionamento do suporte considerando as solicitações em contexto real. Após a validação do modelo numérico, foram obtidos os valores para as condições limite de funcionamento previstas nas normas aplicáveis.

Os resultados obtidos, tanto experimentalmente como numericamente podem-se considerar coerentes relativamente ao comportamento esperado para a estrutura de suporte. Perante os resultados obtidos, e tendo em conta as condições de teste experimental e implementação do modelo de elementos finitos, considera-se que o suporte de máquina estudado tem a resistência e rigidez estrutural adequadas, devendo suportar sem risco de rotura ou deformação permanente as solicitações previstas.

Importa referir que este trabalho de projeto possibilitou o contacto com dificuldades reais do meio industrial, onde surgiram imprevistos e novas questões durante a sua evolução. As competências académicas e pessoais foram enormemente reforçadas, com os esforços desenvolvidos para ultrapassar todas as dificuldades, tendo sido uma experiência exigente, mas que se revelou imensamente gratificante e enriquecedora.

Capítulo 8 - Bibliografia

Afnor. (s.d.). *Normalização*. Obtido de Afnor: <https://normalisation.afnor.org/un-reseau-un-savoir-faire-une-equipe/>

Archdaily. (s.d.). Obtido de Elevadores:

<https://www.archdaily.com.br/br/774522/elevadores-evolucao-e-possibilidades-de-design/560a8d2fe58ece492b00006b-elevadores-evolucao-e-possibilidades-de-design-foto>

Automação, M. (s.d.). *Projeto de elevador de carga*. Obtido de Móbile Automação:

<http://www.mobileautomacao.com.br/projeto-elevador-carga>

CEN. (28 de Maio de 2014). EN 81-20 . *Regras de Segurança para a construção e instalação de Ascensores*.

CEN. (s.d.). *European Standardization Organizations*. Obtido de

<https://www.cencenelec.eu/aboutus/Pages/default.aspx>

CONSELHO, P. E. (2006). DIRECTIVA 2006/42/CE. *Jornal Oficial da União Europeia*, 63.

Elevare. (s.d.). *As Normas Europeias EN 81-1/2 e EN 81-20/50*. Obtido de Elevare:

<http://www.elevare.pt/2017/02/13/1131/>

Freepik. (s.d.). *Screensaver roda dentada no monitor do computador de mesa*. Obtido de

Screensaver roda dentada no monitor do computador de mesa:

https://br.freepik.com/icones-gratis/screensaver-roda-dentada-no-monitor-do-computador-de-mesa_747727.htm

HBM. (s.d.). *Sensores*. Obtido de HBM: <https://www.hbm.com/pt/3445/ry-strain-gauge-em-forma-de-roseta-com-3-grids-de-medicao/>

IPQ. (s.d.). Obtido de Instituto Português da Qualidade:

http://www1.ipq.pt/PT/AssuntosEuropeus/MarcacaoCE/ListaDasDirectivas/Pages/Por%20Diretiva/Seguranca_maquinas.aspx

IPQ. (s.d.). *Marcação CE*. Obtido de

<http://www1.ipq.pt/pt/assuntoseuropeus/marcacaoce/Pages/MarcacaoCE.aspx>

ISO. (s.d.). *ISO12100:2010*. Obtido de International Organization for Standardization:

<https://www.iso.org/standard/51528.html>

Pilz. (s.d.). *Conhecimentos sobre normas*. Obtido de <https://www.pilz.com/pt-PT/knowhow/faq/standards/articles/167667>

República, D. d. (08 de 08 de 2006). *Decreto-Lei n.º 163/2006*. Obtido de Diário da República: <https://dre.pt/pesquisa/-/search/538624/details/normal?q=Decreto-Lei+n.%C2%BA%20163%2F2006%2C%20de+8+de+agosto>

Solidworks. (s.d.). *FEM*. Obtido de http://help.solidworks.com/2012/english/solidworks/cosmosxpresshelp/c_why_analyze_.htm

Standard, E. (s.d.). *EN 12385-5 Steel wire ropes*. Obtido de <https://www.en-standard.eu/csn-en-12385-5-steel-wire-ropes-safety-part-5-stranded-ropes-for-lifts/>

Wikipédia. (10 de 12 de 2016). *Elisha Graves Otis*. Obtido de https://pt.wikipedia.org/wiki/Elisha_Graves_Otis

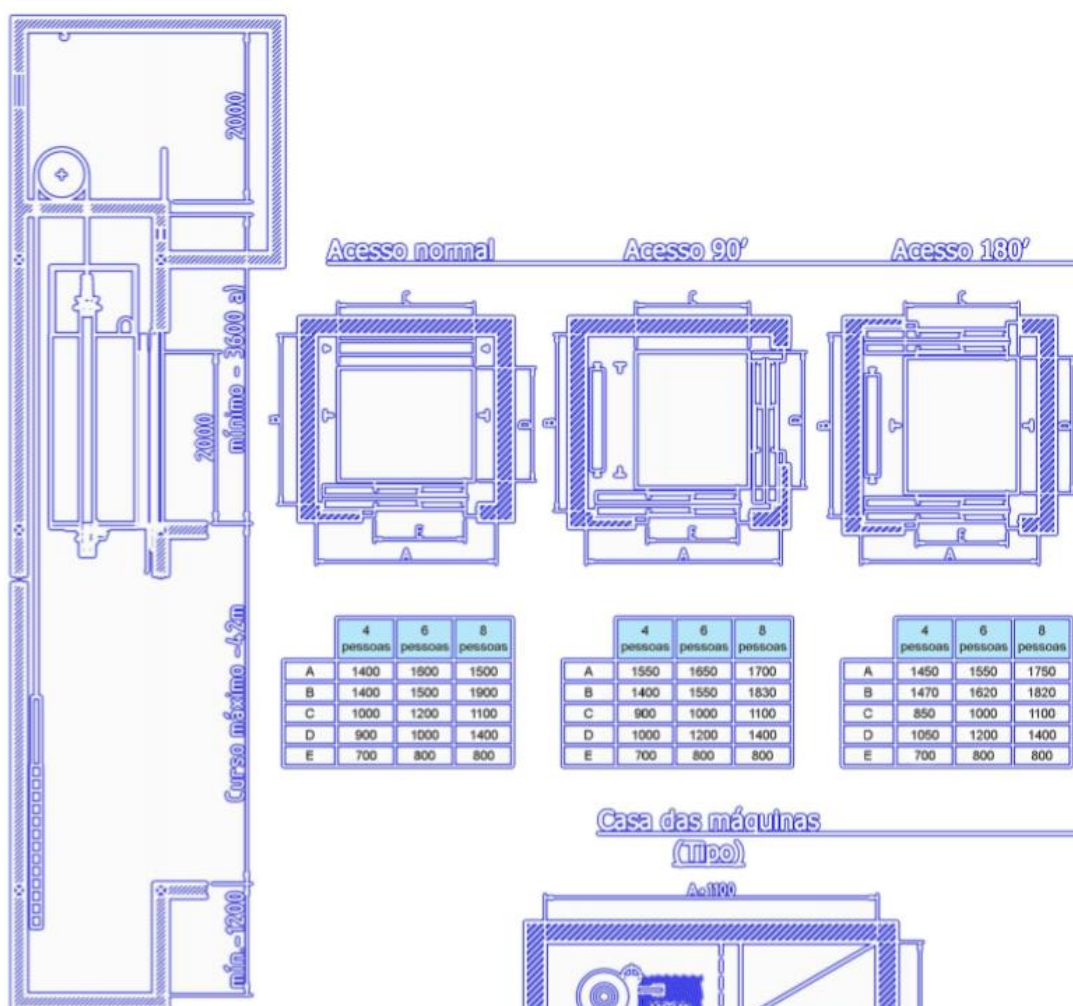
Wittur. (s.d.). *Limitadores de velocidade*. Obtido de <https://www.wittur.com/pt/produtos/limitadores-de-velocidade.aspx>

Capítulo 9 - Anexos

9.1 - Anexo A – Catálogo elevador com casa máquina



Corte Vertical

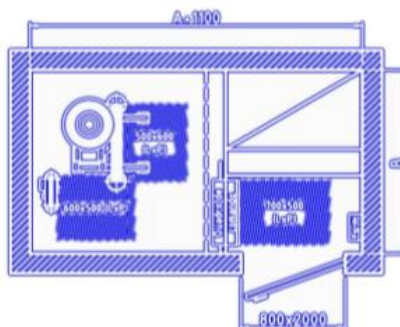


	4 pessoas	6 pessoas	8 pessoas
A	1400	1600	1500
B	1400	1500	1900
C	1000	1200	1100
D	900	1000	1400
E	700	800	800

	4 pessoas	6 pessoas	8 pessoas
A	1550	1650	1700
B	1400	1550	1830
C	900	1000	1100
D	1000	1200	1400
E	700	800	800

	4 pessoas	6 pessoas	8 pessoas
A	1450	1550	1750
B	1470	1620	1820
C	850	1000	1100
D	1050	1200	1400
E	700	800	800

Casa das máquinas (tipo)

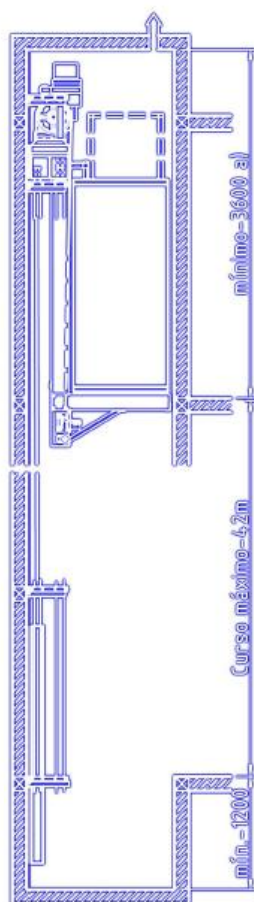


a) Para elevadores duplos sem vedação a toda a altura, prever o último piso com o mínimo de 3000 ou suplemento de balaustrada rebatível.

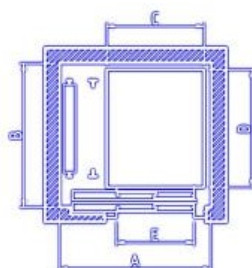
9.2 - Anexo B – Catálogo elevador sem casa máquina



Corte Vertical

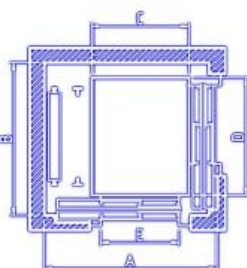


Acesso normal



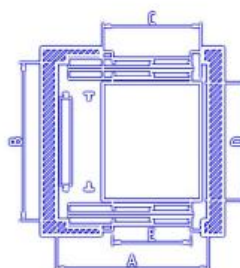
	4 pessoas	6 pessoas	8 pessoas
A	1400	1550	1650
B	1350	1500	1700
C	850	1000	1100
D	1050	1200	1400
E	700	800	800

Acesso 90°



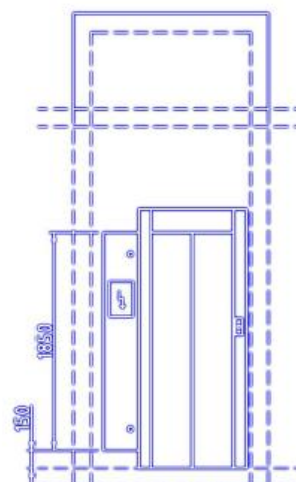
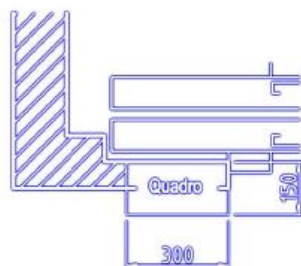
	4 pessoas	6 pessoas	8 pessoas
A	1550	1700	1800
B	1350	1500	1700
C	850	1000	1100
D	1050	1200	1400
E	700	800	800

Acesso 180°



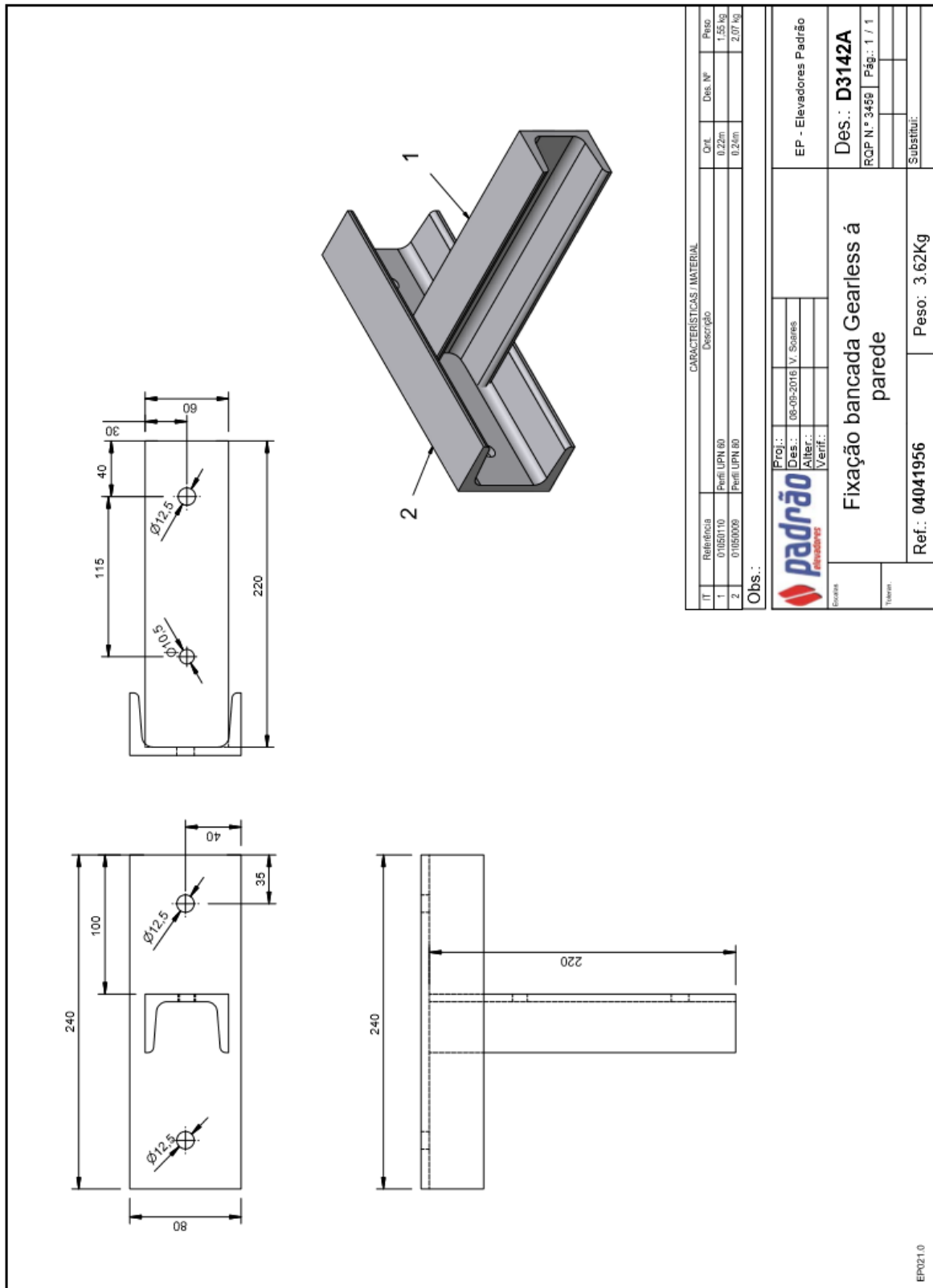
	4 pessoas	6 pessoas	8 pessoas
A	1400	1550	1650
B	1480	1620	1820
C	850	1000	1100
D	1050	1200	1400
E	700	800	800

Dimensões do quadro de comando



a) Para elevadores duplos com vedação a toda a altura, prever o último piso com o mínimo de 3800 ou suplemento de balaustrada rebatível.

9.3 - Anexo C – Desenho fixação à parede



9.4 - Anexo D – Desenho suporte máquina

Nota: Quando bancada direita, soldar as peças 4, 5, 6, 7 do lado oposto ao tubo.

Atenção: Quando bancada direita a peça 4 tem de ser colocada na posição inversa.

CARACTERÍSTICAS / MATERIAL					
IT	Referência	Descrição	Qnt.	Des. N°	Peso
1	02100538	Tubo rect. 100x60x6mm	1		13,01 kg
2	02100533	Chapa 190x340x5	2		3,92 kg
3	02100529	Triângulo 190x100x6	2		0,88 kg
4	02100539	Chapa 100x25x4	1		1,71 kg
5	02100541	Chapa 330x266x15	1		10,22 kg
6	02100531	Triângulo 100x100x10	2		0,78 kg
7	02100540	Chapa 120x190x10	1		1,46 kg

Obs.:

Proj.:	16-01-2015	V. Soares	EP - Elevadores Padrão
Des.:			
Alter.:			
Verif.:			
Bancada máq. gearless Gc150-225-240 el. 2/1 EGCP850 Esq.			Des.: D3149A
Ref.: 04050443			Peso: 31.98Kg
			RQP N.º 3456 Pág.: 1 / 2
			Substitui:

Qnt.: x1 ReP 02100538

Qnt.: x2 ReP 02100529

Qnt.: x4

Qnt.: x2

ReP 02100531

Qnt.: x1

Qnt.: x1

ReP 02100539

Qnt.: x1

ReP 02100541

Obs.:

Proj.:	16-01-2015	V. Soares	EP - Elevadores Padrão
Des.:			
Alter.:			
Verif.:			
Bancada máq. gearless Gc150-225-240 el. 2/1 EGCP850 Esq.			Des.: D3149A
Ref.: 04050443			Peso: 31.98Kg
			RQP N.º 3456 Pág.: 2 / 2
			Substitui:

9.5 - Anexo E – Projeto de instalação

Corte vertical - "A-A"

Corte vertical - "B-B"

REACTORES		QUANTIDADE		TOTAL	
R1	R2	04	08	08	08
R3	R4	02	04	04	04
R5	R6	02	04	04	04
R7	R8	02	04	04	04
R9	R10	02	04	04	04
R11	R12	02	04	04	04
R13	R14	02	04	04	04
R15	R16	02	04	04	04
R17	R18	02	04	04	04
R19	R20	02	04	04	04
R21	R22	02	04	04	04
R23	R24	02	04	04	04
R25	R26	02	04	04	04
R27	R28	02	04	04	04
R29	R30	02	04	04	04
R31	R32	02	04	04	04
R33	R34	02	04	04	04
R35	R36	02	04	04	04
R37	R38	02	04	04	04
R39	R40	02	04	04	04
R41	R42	02	04	04	04
R43	R44	02	04	04	04
R45	R46	02	04	04	04
R47	R48	02	04	04	04
R49	R50	02	04	04	04
R51	R52	02	04	04	04
R53	R54	02	04	04	04
R55	R56	02	04	04	04
R57	R58	02	04	04	04
R59	R60	02	04	04	04
R61	R62	02	04	04	04
R63	R64	02	04	04	04
R65	R66	02	04	04	04
R67	R68	02	04	04	04
R69	R70	02	04	04	04
R71	R72	02	04	04	04
R73	R74	02	04	04	04
R75	R76	02	04	04	04
R77	R78	02	04	04	04
R79	R80	02	04	04	04
R81	R82	02	04	04	04
R83	R84	02	04	04	04
R85	R86	02	04	04	04
R87	R88	02	04	04	04
R89	R90	02	04	04	04
R91	R92	02	04	04	04
R93	R94	02	04	04	04
R95	R96	02	04	04	04
R97	R98	02	04	04	04
R99	R100	02	04	04	04

QUANTIDADE

Atenção: verificar a compatibilidade dos materiais com o ambiente. A instalação deve ser realizada de acordo com o manual de instalação do fabricante. O fabricante é responsável por fornecer o material necessário para a instalação.

Observações:

Atenção:

APROVAÇÃO

Assinatura: _____

Nome: _____

Função: _____

padrão | E0810G21

Projeto: _____

Revisão: _____

Assinatura: _____

Nome: _____

Função: _____

DP - Desenvolvido Publico

Dep.: _____

Assinatura: _____

Nome: _____

Função: _____

EC -

Assinatura: _____

Nome: _____

Função: _____

9.6 - Anexo F – Caraterísticas do motor

PM MACHINE CONFIGURATOR AS PER EN81

LIFT DATA

Passengers.....	3
Service load (Q) (kg).....	550
Car weight (P) (kg).....	800
Speed (m/s).....	1
Roping.....	2:1
Travel height (m).....	15
Shaft efficiency (%).....	95
Traction pulley diameter (mm).....	260
Rope diameter (mm).....	9.5
Nº of ropes.....	3
Counterweight balance (%).....	50
Duty cycle.....	40
Voltage (V).....	380
Compensation chain.....	NC

Nominal Torque installation (Nm).....	245.00
Nominal Speed installation (rpm).....	189.24

Traction pulley data

Diameter (mm).....	260
Shape of grooves.....	V
γ (°).....	45
β (°).....	NC
Undercut.....	NC
Hardened groove.....	YES
Wrapping angle of ropes.....	130

Diverter pulley data

Quantity.....	2
Diameter (mm).....	320

SELECTION MOTOR DATA

MOTOR MODEL..... **GCL50-230-225**

MECHANICAL DATA

Nom. torque motor (Nm).....	250
Max. torque motor (Nm).....	650
Duty cycle (%).....	40
Starts/hour.....	100
Static load (kg).....	2000
Nominal speed (rpm).....	159.24
Max. speed (rpm).....	225
Machine weight (kg).....	1.60

ELECTRICAL DATA

Nom. consumption (A).....	30.95
Max. consumption (A).....	27.71
Rated voltage (V).....	380
Nominal power (kW).....	4.01
Hzns (Hz).....	15.92
Brake voltage (Vdc).....	210
Poles.....	4

CALCULATED VALUES

1. STATIC LOADS

Full Car at bottom:

Rope force, car side (N).....	T ₁ 7145.8
Rope force, counterweight side (N).....	T ₂ 5485.1
Resulting force (N).....	T 12614.9
Total static force (N).....	R 12614.9
Permissible load (N).....	C _{adm} 16677.0
Total static force < Permissible load.....	OK

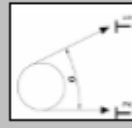
Empty car on top:

Rope force, car side (N).....	T ₁ 3524.0
Rope force, counterweight side (N).....	T ₂ 5500.8
Resulting force (N).....	T 9524.8
Total static force (N).....	R 9524.8
Permissible load (N).....	C _{adm} 16677.0
Total static force < Permissible load.....	OK

2. CALCULATED SAFETY FACTORS (According EN81-1:1998 Annex N)

Type of rope..... **DRACO 250T-S*19-11-ES**

Minimum breaking load of the rope (kg).....	2410
Number of invention pulleys (N).....	0
Number of diversion pulleys (N).....	3
K ₀	0.32
Nash(I).....	2
Nash(II).....	0.105
Nash(III).....	4.95
Minimum safety factor (S).....	16.40
Real safety factor.....	24.05
Minimum safety factor (S) < Real safety factor.....	OK

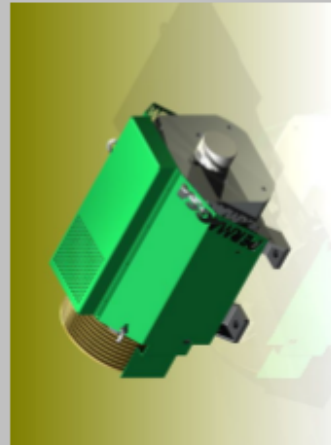


3. RESULTS OF TRACTION ABILITY CALCULATION

T ₁ /T ₂	S	e ^{-mu}	Wrap Angle	
With 125% loaded	1.45	5	2.27	≥ 281,14
Emergency brake	1.58	5	1.98	≥ 120,76
Car blocked up	29.80	2	5.16	≥ 372,12

*NOTE: SPECIFIC PRESSURE OF THE ROPES IN THE GROOVES (According TRA. Compliance is not required)

Specific pressure of the ropes in the grooves (N/mm²).....	2.33
Maximum admissible pressure (N/mm²).....	2
Specific pressure in the grooves < Max. admissible pressure.....	OK



9.7 - Anexo G – Binário de aperto de parafusos

1 - INSTRUÇÃO E DESENHO DE APERTO

Para o binário de aperto dos parafusos recomendamos:

- Aperte as porcas ou parafusos como indicado na tabela abaixo, usando um torquímetro.
- Uma vez apertados, marque cada porca ou parafuso, de maneira a saber qual já se encontra apertado correctamente.
- Ter atenção à dureza, descrito na cabeça do parafuso. (O parafuso utilizado por norma é o 8.8).

Tabela de aplicação de torque em Nm, de acordo com a classificação de dureza do parafuso.
Norma ISO 898/1

Tabela de Torque de Parafuso														
Rosca	3.6	4.6	4.8	5.8	8.8	10.9	12.9	Rosca	4.6	4.8	5.8	8.8	10.9	12.9
M1.6	0.05	0.065	0.086	0.11	0.17	0.24	0.29	M14	48	58	80	128	181	217
M2	0.10	0.13	0.17	0.22	0.35	0.49	0.58	M16	74	88	123	197	277	333
M2.2	0.13	0.17	0.23	0.29	0.46	0.64	0.77	M18	103	121	172	275	386	463
M2.5	0.20	0.26	0.35	0.44	0.70	0.98	1.20	M20	144	170	240	385	541	649
M3	0.35	0.46	0.61	0.77	1.20	1.70	2.10	M22	194	230	324	518	728	874
M3.5	0.55	0.73	0.97	1.20	1.90	2.70	3.30	M24	249	295	416	665	935	1120
M4	0.81	1.10	1.40	1.80	2.90	4.00	4.90	M27	360	435	600	961	1350	1620
M5	0.80	2.20	2.95	3.60	5.70	8.10	9.70	M30	492	590	819	1310	1840	2210
M6	2.80	3.70	4.90	6.10	9.80	14.0	17.0	M36	855	1030	1420	2280	3210	3850
M8		8.90	10.50	15.0	24.0	33.0	40.0	M42	1360		2270	3640	5110	6140
M10		17.0	21.0	29.0	47.0	65.0	79.0	M45	1690		2620	4510	6340	7610
M12		30.0	36.0	51.0	81.0	114.0	136.0	M48	2040		3400	5450	7660	9190

