



Instituto Superior de Engenharia de Coimbra
Departamento de Engenharia Mecânica

DESENVOLVIMENTO DE UM CONTENTOR ENTERRADO PARA RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Relatório de estágio apresentado para obtenção de grau
Mestre em Engenharia Mecânica

Autor

Jorge Filipe Pereira da Cunha

Orientador

Professor Doutor Ricardo Nuno Madeira Soares Branco

Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

Coimbra, Dezembro, 2015

Aviso Legal

O presente documento contém “informação confidencial” sujeita a sigilo profissional, propriedade industrial e de direitos de autor, pelo que a sua divulgação está expressamente proibida.

Por “Informação confidencial” entende-se informações não públicas, adquiridas durante o curso do projeto, seja escrita, oral ou visual (incluindo mas não limitado a todas as especificações, desenhos, segredos comerciais, fotografias, protótipos, modelos, software de computador, know-how, fórmulas, processos, direitos autorais, patentes, técnicas, novos detalhes de produto, planos de negócios, manuais, informações comerciais e quaisquer elementos respetivos).

Agradecimentos

Uma tese de mestrado, apesar de ser um processo solitário, reúne os contributos de várias pessoas e varias entidades, ao que deixo aqui um especial agradecimento aos seguintes.

À empresa *MODO exato Design*, que sem a sua disponibilidade para me receber, fornecer meios tecnológicos e fortalecer os meus conhecimentos de modelação, este estágio não teria sido possível.

Ao ISEC, pelos conhecimentos por esta entidade fornecidos.

Ao Estado Português, que sem o seu contributo monetário, por meios de atribuição da bolsa de estudo, a minha permanência na faculdade, quer na licenciatura, quer no mestrado teria sido impossível.

Ao Professor Doutor Ricardo Branco, que na qualidade de orientador de estágio, prestou um inestimável apoio e orientação. Pela dedicação e disponibilidade demonstrada nas várias propostas de alteração do relatório, que foram sem dúvida uma mais-valia para este.

Ao Designer Industrial Daniel Gameiro, que na qualidade de CEO da *MODO exato design*, prestou um inestimável apoio e orientação nos vários projetos em que estive envolvido.

Ao Designer Industrial André Monteiro, pelos ensinamentos, preciosas orientações, e pela disponibilidade em correr grande parte dos estudos numéricos do *SolidWorks* no seu computador.

Ao amigo Eng. Nuno Martins, pela ajuda e disponibilidade em correr no seu computador alguns estudos numéricos do *SolidWorks* necessários para a realização do relatório de estágio.

À minha querida irmã, Cristiana Cunha, que mesmo tendo que escrever a tese dela dispensou o seu precioso tempo a corrigir a minha e à amiga Daniela Pereira, pela ajuda preciosa na revisão.

Aos meus pais pela confiança, dedicação, pelos valores fundamentais transmitidos e pelo esforço de todos estes anos.

Aos restantes familiares, amigos e professores que de uma maneira ou de outra ensinaram-me, apoiaram-me, serviram de exemplo a seguir e incentivaram-me a ser mais e melhor, durante este longo percurso académico.

Resumo

O Mestrado em Engenharia Mecânica contempla, opcionalmente, a execução de um estágio curricular, com o objetivo de aprofundar a formação do aluno em contexto de trabalho através da sua integração nas atividades de uma empresa. Neste caso particular, o autor deste relatório teve possibilidade de estagiar numa empresa de desenvolvimento de produto, a *MODO exato Design*.

Durante o decorrer do estágio, o autor do relatório teve o privilégio de participar em vários projetos, sendo que o projeto que mais tempo e dedicação o evoluiu foi o desenvolvimento de um contentor enterrado para resíduos sólidos urbanos (RSU).

Neste relatório são descritas, em pormenor, as principais etapas necessárias para o desenvolvimento e modelação de um contentor enterrado para RSU, cujo objetivo final é a construção de um protótipo.

Os elementos do contentor que foram elaborados no decorrer do estágio são os seguintes:

- Plataforma de segurança, composta por:
 - Mecanismo de bloqueio;
 - Estrutura da plataforma de segurança.
- Sistema de extração, composto por:
 - *Quick*;
 - Plataforma de solo;
 - Niveladores da plataforma de solo;
 - Aro de solo.

O contentor enterrado desenvolvido no decorrer do estágio obedece à norma europeia EN13071 (2008) e a vários requisitos do cliente. A norma mencionada regulamenta a resistência mecânica que os vários elementos devem ter.

Para garantir o cumprimento da norma foram realizados vários ensaios numéricos com o *software SolidWorks*.

Palavra-chave: contentor enterrado, RSU, plataforma de segurança, sistema de extração.

Abstract

The master degree in Mechanic Engineering offers the possibility to carry out an internship in an enterprise aiming at increasing the students' knowledge and his practical experience. In this particular case, the author of this report had the opportunity of doing his internship in *MODO exato Design*, an enterprise focused on product development.

During the internship, the report's author had the privilege of participating in various projects, the project in which the author dedicated more time was the development of a container buried for municipal solid waste (MSW).

In this report, the main steps needed to develop and model a container buried for MSW, whose ultimate goal is the production of a prototype, are described in detail.

The parts of the container which were drawn up on stage course are the followers:

- Security Platform which consists of:
 - Locking mechanism;
 - Structure of the safety platform.
- Extraction System which consists of:
 - Quick;
 - Ground platform;
 - Leveling the ground platform;
 - Ground ring.

The container buried developed at the stage of the course follows the European Standard EN13071 (2008) and the customer requirements. The standard quoted regulates the mechanical resistance of the various components.

To ensure the standard requirements, several numerical tests were performed with *Solid-Works* software.

Keyword: container buried, MSW, security platform, extraction system.

Índice

AGRADECIMENTOS.....	V
RESUMO.....	VII
ABSTRACT	IX
ÍNDICE.....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XV
ÍNDICE DE TABELAS.....	XXVII
ÍNDICE DE GRÁFICOS	XXVIII
SIMBOLOGIA E PRINCIPAIS UNIDADES	XXIX
ABREVIATURAS E SIGLAS.....	XXXI
CAPÍTULO 1.INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Necessidade da Presente Investigação.....	1
1.3. Objetivos e Metodologia	2
1.3.1. Principais objetivos	2
1.3.2. <i>Software</i> usado na conceção do projeto	3
1.3.3. Metodologia usada na construção das várias peças	4
1.3.4. Metodologia de dimensionamento	5
1.4. Material Usado	9
CAPÍTULO 2.PLATAFORMA DE SEGURANÇA	11
2.1. Introdução	11
2.2. Considerações Iniciais	11
2.3. Mecanismo de Bloqueio (MB)	12

2.3.1.	1ª Versão do mecanismo de bloqueio	13
2.3.2.	2ª Versão do mecanismo de bloqueio	31
2.3.3.	3ª Versão do mecanismo de bloqueio	32
2.3.4.	4ª Versão do mecanismo de bloqueio	33
2.4.	Estrutura Resistente da Plataforma de Segurança.....	43
2.4.1.	1ª Versão da estrutura da plataforma de segurança	43
2.4.2.	2ª Versão da estrutura da plataforma de segurança	44
2.4.3.	3ª Versão da estrutura da plataforma de segurança.	47
2.5.	Ensaio de Resistência Estrutural.....	51
2.5.1.	Cálculo da força a aplicar à estrutura da plataforma de segurança	52
2.5.2.	Ensaio da plataforma de segurança	52
2.5.3.	Ensaio do ferrolho	62
2.5.4.	Ensaio do balancete	65
2.6.	Conclusão	68
CAPÍTULO 3.SISTEMA DE EXTRAÇÃO		71
3.1.	Introdução	71
3.2.	Considerações Iniciais	71
3.3.	Evolução do Conceito do Sistema de Extração	72
3.3.1.	Montagem e afinação do sistema de extração	74
3.4.	Quick	76
3.4.1.	Apresentação das peças constituintes	77
3.4.2.	Ensaio de resistência estrutural.....	80
3.4.3.	Cálculo da força a aplicar ao <i>quick</i>	81
3.5.	Plataforma de Solo.....	87
3.5.1.	Apresentação das peças constituintes	87
3.5.2.	Ensaio de resistência estrutural	89
3.6.	Niveladores da Plataforma de Solo.....	92
3.6.1.	Apresentação das peças constituintes	92

3.7. Aro de Solo	93
3.7.1. Apresentação das peças constituintes	93
3.8. Conclusão	94
CAPÍTULO 4.CONCLUSÕES FINAIS.....	95
REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFIA.....	97
A. ANEXOS.....	1
A.1. Figuras complementares da introdução	1
A.2. Figuras complementares do 2º Capítulo	9
A.2.1. Ensaio da plataforma de segurança com elementos viga	11
A.2.2. Ensaio da plataforma de segurança sem elementos viga	15
A.2.3. Ensaio da plataforma de segurança fixa em 4 furos	18
A.2.4. Ensaio da plataforma de segurança com a 4ª versão da K7.....	21
A.2.5. Ensaio da plataforma de segurança com carga excêntrica	24
A.2.6. Ensaio do ferrolho	26
A.2.7. Ensaio do balancete.....	28
A.2.8. Conclusão 2º capítulo	30
A.3. Figuras complementares do 3º Capítulo	31
A.3.1. Ensaio do <i>quick</i> com sistema <i>Kinshofer</i>	31
A.3.2. Ensaio do <i>quick</i> com sistema de argola simples.....	34
A.3.3. Ensaio da haste extraível	37
A.3.4. Plataforma de Solo	39
A.3.4.1. 1º Ensaio da plataforma de solo.....	41
A.3.4.2. 2º Ensaio da plataforma de solo.....	44
A.3.4.3. 3º Ensaio da plataforma de solo.....	46
A.3.4.4. 4º Ensaio da plataforma de solo.....	48
A.3.4.5. 5º Ensaio da plataforma de solo.....	50
A.3.4.6. 6º Ensaio da plataforma de solo.....	52
A.3.4.7. 7º Ensaio da plataforma de solo.....	54

A.3.4.8. 8º Ensaio da plataforma de solo	56
A.3.5. Conclusão 3º capítulo	58

Índice de Figuras

Figura 1.1 - Modelo CAD de uma peça.....	4
Figura 1.2 - Modelo CAD de uma peça dividido em partes menores (elementos).....	4
Figura 1.3 - Elemento tetraédrico. Os pontos vermelhos representam nós. As arestas de um elemento podem ser curvas ou retas	4
Figura 1.4 - Elementos tetraédricos lineares.....	7
Figura 1.5 - Elementos tetraédricos parabólicos.....	7
Figura 1.6 - Elementos triangular lineares.....	7
Figura 1.7 - Elementos triangular parabólico	7
Figura 1.8 - Graus de liberdade nos eixos ortogonais	7
Figura 2.1 - Contentor metálico e plataforma de segurança no fundo da cuba de betão	13
Figura 2.2 - Plataforma de segurança na posição de segurança, ainda acoplada ao contentor metálico	13
Figura 2.3 - Plataforma de segurança na posição de segurança, desacoplada do contentor metálico	14
Figura 2.4 - Esboço da versão 1.1 do MB	14
Figura 2.5 - Esboço da versão 1.1 do MB. (2) – Ferrolho; (10) – Gancho; (11) – Linha que prevê o movimento do contentor metálico para o encaixe na plataforma; (12) – Varão calandrado que liga a plataforma de segurança ao contentor metálico	15
Figura 2.6 - Versão 1.1 do MB aberto/fechado, respetivamente	15
Figura 2.7 - Versão 1.1 do MB com a plataforma de segurança correspondente.....	16
Figura 2.8 - Esboço da versão 1.2 do MB	16
Figura 2.9 - Versão 1.2 do MB, aberto	16
Figura 2.10 - Versão 1.2 do MB, fechado	16
Figura 2.11 - Versão 1.2 do MB com a plataforma de segurança correspondente. Livre e bloqueada, respetivamente.....	17
Figura 2.12 - Esboço da versão 1.3 do MB	17
Figura 2.13 - Vista lateral com transparência da versão 1.3 do MB, aberto/fechado, respetivamente.....	17
Figura 2.14 - Vista isométrica com transparência da versão 1.3 do MB, abeto/fechado, respetivamente.....	17
Figura 2.15 - Versão 1.3 do MB com a plataforma de segurança correspondente. Livre e bloqueada, respetivamente.....	18

Figura 2.16 - Esboço do ferrolho. (1) – Ferrolho; (2) – Guia do Ferrolho; (3) – Calha	18
Figura 2.17 - Ferrolho	18
Figura 2.18 - Caixa guia do ferrolho	18
Figura 2.19 - Esboço do ferrolho. (1) – Ferrolho; (2) – Guia do Ferrolho; (3) – Calha	19
Figura 2.20 - Ferrolho	19
Figura 2.21 - Caixa guia do ferrolho do ferrolho	19
Figura 2.22 - Esboço do ferrolho. (1) – Ferrolho; (2) – Guia do Ferrolho; (3) – Calha	19
Figura 2.23 - Elementos constituintes do ferrolho. (1) – Chapa de aço; (2) – Cavilha; (3) – Rolete em POM; (4) – Freio	19
Figura 2.24 - Elementos responsáveis por guiar o ferrolho	20
Figura 2.25 - (1) – Ferrolho; (2) – K7; (3) – Guia do ferrolho.....	20
Figura 2.26 - Transmissão de movimento da versão 1.1 do MB	20
Figura 2.27 - Forquilha.....	21
Figura 2.28 - Forquilha de ataque	21
Figura 2.29 - Afinador.....	21
Figura 2.30 - Elo de ligação	21
Figura 2.31 - Varão roscado	21
Figura 2.32 - Transmissão da versão 1.3 do MB	21
Figura 2.33 - À esquerda encontra-se em esboço e modelado o gancho da versão 1.1, ao centro o da versão 1.2 e há direita o da versão 1.3	22
Figura 2.34 - Gancho da versão 1.1 do MB	22
Figura 2.35 - Gancho da versão 1.2 do MB	22
Figura 2.36 - Gancho da versão 1.3 do MB	22
Figura 2.37 - Fixações das peças móveis na versão 1.1 do MB. Círculo vermelho – ligação da mola à plataforma; Quadrado roxo – ligação do gancho à plataforma.....	23
Figura 2.38 - Ligação da mola à plataforma da versão 1.1 do MB.....	23
Figura 2.39 - Chapa da ligação do gancho à plataforma.....	23
Figura 2.40 - Fixações das partes móveis da versão 1.2 do MB. Círculo vermelho – ligação da mola à plataforma	23
Figura 2.41 - Ligação da mola à plataforma da versão 1.2	24
Figura 2.42 - Furos para localizar o eixo do gancho	24
Figura 2.43 - Fixadores da caixa guia do ferrolho	24

Figura 2.44 - Estrutura da K7. (1) – Chapa quinada da K7; (2) – Ligação da mola à plataforma de segurança	24
Figura 2.45 - Ligação da mola a plataforma de segurança	25
Figura 2.46 - Cavilha	25
Figura 2.47 - Freio	25
Figura 2.48 - K7.....	25
Figura 2.49 - Forças que atuam no desacoplamento da plataforma de segurança com o varão calandrado na versão 1.3 do MB	25
Figura 2.50 - Esquema do 1º cálculo. As setas (roxa, azul e laranja) representam a direção e os sentidos das forças envolvidas. (1) - Representação dos sentidos positivos considerados	26
Figura 2.51 - Esquema do 2º cálculo. As setas (vermelha, verde e roxa) representam a direção e os sentidos das forças envolvidas	27
Figura 2.52 - Mola da versão 1.3 do MB.....	30
Figura 2.53 - Alternativa abandonada 1	31
Figura 2.54 - 3ª Versão do MB desacoplado do contentor metálico. Seta preta – Eixo da peça 2; Seta azul – Eixo da peça 1	32
Figura 2.55 - 3ª Versão do MB na fase de transição de acoplado para desacoplado, com o contentor metálico	32
Figura 2.56 - 3ª Versão do MB acoplado ao contentor metálico.....	32
Figura 2.57 - 4ª Versão do MB acoplado ao contentor metálico.....	33
Figura 2.58 - 4ª Versão do MB na fase de transição de acoplado para desacoplado, com o contentor metálico	33
Figura 2.59 - 4ª Versão do MB desacoplado do contentor metálico	33
Figura 2.60 - Três posições da versão 4 do MB. A posição do MB para quando a plataforma de segurança está livre, em regime transitório e bloqueada na posição de segurança, respetivamente	34
Figura 2.61 - Plataforma de segurança atual com a 4ª versão do MB, aberto/fechado, respetivamente.....	34
Figura 2.62 - Peça 1/balancete. (1) – Roldana; (2) – Eixo de articulação; (3) – Parte estrutural	35
Figura 2.63 - Partes estruturais da peça 1/balancete.....	35
Figura 2.64 - Roldana	35
Figura 2.65 - Peça 2/bloqueio do balancete.....	36
Figura 2.66 - Transmissão do movimento da 4ª versão.....	36

Figura 2.67 - Comparação dos ângulos com a horizontal ente o gancho da versão 1.3 e 4 do MB, respetivamente	37
Figura 2.68 - Comparação entre o gancho da versão 1.3 e 4 do MB, respetivamente. Seta vermelha – Localização do furo de transmissão; Seta azul – eixo do gancho	37
Figura 2.69 - Forças que atuam no desacoplamento da plataforma de segurança com o varão calandrado na 4ª versão do MB.....	38
Figura 2.70 - Mola da 4ª versão do MB	38
Figura 2.71 - Forças que atuam no balancete da 4ª versão do MB	39
Figura 2.72 - Esquema do 1º cálculo. As setas (azul, verde e vermelho) representam a direção e os sentidos das forças envolvidas. (1) - Representação dos sentidos positivos considerados.....	39
Figura 2.73 - Esquema do 2º cálculo. As setas (roxa, laranja e azul) representam a direção e os sentidos das forças envolvidas	40
Figura 2.74 - Mola de torção da 4ª versão do MB	42
Figura 2.75 - Localização da mola do balancete	42
Figura 2.76 - Elementos constituintes da 1ª versão da plataforma de segurança.....	43
Figura 2.77 - Estrutura da plataforma de segurança, frente e verso.....	43
Figura 2.78 - Estrutura triangular da 2ª versão da plataforma de segurança.....	44
Figura 2.79 - Cruz central	44
Figura 2.80 - Estrutura da 2ª versão da plataforma de segurança	45
Figura 2.81 - Roldana.....	45
Figura 2.82 - Estrutura da roldana.....	45
Figura 2.83 - Parte central da proteção contra desbloqueios involuntários	46
Figura 2.84 - Proteção contra desbloqueios involuntários e do MB	46
Figura 2.85 - Proteção contra desbloqueios involuntários	46
Figura 2.86 - Tipo de grelha metálica	46
Figura 2.87 - Configuração da grelha metálica	46
Figura 2.88 - 2ª Versão da plataforma de segurança, com transparência na estrutura de proteção contra a queda de transeunte	47
Figura 2.89 - Estrutura triangular da 3ª versão da plataforma de segurança.....	48
Figura 2.90 - Cruz central	48
Figura 2.91 - Estrutura da plataforma de segurança.....	48
Figura 2.92 – Roldana. Retângulos vermelhos – abas laterais da roldana	49
Figura 2.93 - Conjunto da roldana	49

Figura 2.94 - Demonstração da forma de estabilização da plataforma de segurança ...	49
Figura 2.95 - Proteção do gancho e do MB	50
Figura 2.96 - Demonstração da proteção contra desbloqueios involuntários	50
Figura 2.97 - Configuração da grelha metálica.....	50
Figura 2.98 - Estrutura usada no estudo de convergência de malha, vista de frente e de verso	53
Figura 2.99 - Chapas a calcular com elementos casca.....	53
Figura 2.100 - Tubos a calcular com elementos sólidos.....	53
Figura 2.101 - Tubos a calcular com elementos viga	53
Figura 2.102 - Zonas de aplicação do esforço consideradas no cálculo. Setas roxas – Localização e direção da força	53
Figura 2.103 - Pormenor das zonas consideradas para a aplicação do esforço. Setas roxas – Localização e direção da força	53
Figura 2.104 - Fixações consideradas no cálculo. Setas verdes – Bloqueio da rotação e vetores deslocamento representados (todos)	54
Figura 2.105 - Pontos de junta dos elementos viga. Pontos com cor castanha-esverdeada – Contacto de elementos viga com elemento não viga; Pontos com cor-de-rosa – Contacto de elementos viga com elementos viga	54
Figura 2.106 - Detalhes da malha	57
Figura 2.107 - Detalhes da malha	58
Figura 2.108 - Pormenor da cruz central do estudo com elementos viga	59
Figura 2.109 - Pormenor da cruz central do estudo sem elementos viga	59
Figura 2.110 - Novas fixações consideradas no cálculo. Setas verdes – Bloqueio dos vetores deslocamento representados (todos)	59
Figura 2.111 - Novas fixações consideradas no cálculo. Setas verdes – Bloqueio dos vetores deslocamento representados (todos)	59
Figura 2.112 - Tensões na K7 com fixação nos oito furos	60
Figura 2.113 - Tensões na K7 com fixação em quatro furos	60
Figura 2.114 - Fixações e esforços considerados no cálculo. Setas verdes – Bloqueio dos vetores deslocamento representados (todos); Setas roxas – Localização e direção da força ...	60
Figura 2.115 - Detalhes da malha	61
Figura 2.116 - Fixações e esforços considerados no cálculo	62
Figura 2.117 - Zona de aplicação de esforços	62
Figura 2.118 - Zona de aplicação de esforços	62

Figura 2.119 - MB atuado na posição de segurança, visto em corte. (1) – Linhas de construção a cheio representam a calha	63
Figura 2.120 - Fixações e esforços. Setas verdes – Bloqueio dos vetores deslocamento representados (todos); Setas roxas – Localização e direção da força	63
Figura 2.121 - Fixações e esforços considerados no cálculo. Setas verdes – Bloqueio dos vetores deslocamento representados (todos); Setas roxas – Localização e direção da força...	63
Figura 2.122 - Detalhes da malha.....	65
Figura 2.123 - Aspeto da malha convergida	65
Figura 2.124 - MB atuado na posição de segurança, visto em corte. (1) – Linhas de construção a cheio representam a calha	66
Figura 2.125 - Fixações e esforços considerados no cálculo. Setas verdes – Bloqueio dos vetores deslocamento representados (todos); Setas roxas – Localização e direção da força. (A) – Furo central das chapas; (B) – Furo onde trabalha a mola.....	66
Figura 2.126 - Detalhes da malha.....	67
Figura 3.1 - 1ª Configuração do sistema de extração. Linhas a vermelho – Triângulo de proteção fictício; (1) – Argola simples; (2) – Tubo que eleva a argola simples; (3) – Tambor duplo; (4) – Cabeçote	72
Figura 3.2 - 2ª Configuração do sistema de extração. Linhas a vermelho – Triângulo de proteção fictício; (1) – Argola simples; (2) – Tubo que eleva a argola simples; (3) – Tambor duplo; (4) – Cabeçote	73
Figura 3.3 - 3ª Configuração do sistema de extração. (1) – Peças em que encaixa o sistema <i>Kinshofer</i> ; (2) – Tambor duplo; (3) – Estrutura do sistema de extração.....	73
Figura 3.4 - Configuração atual do sistema de extração, de lado e, em vista explodida. (1) – Peças em que encaixa o sistema <i>Kinshofer</i> ; (2) – <i>Quick</i> ; (3) – Plataforma de solo; (4) – Niveladores da plataforma de solo; (5) – Aro do solo	74
Figura 3.5 - Ligação aparafusada do contentor metálico ao <i>quick</i>	74
Figura 3.6 - Ligação dos niveladores do aro de solo ao <i>quick</i> e à plataforma de solo .	74
Figura 3.7 - Regulação da cuba de betão e aro de solo para solos planos.....	75
Figura 3.8 - Regulação da cuba de betão e aro de solo para solos com inclinação de 5%	75
Figura 3.9 - Estudo da inclinação do aro de solo e plataforma de solo. (1) – Plataforma de solo; (2) – Aro de solo; (3) – Niveladores da plataforma de solo; (4) – Cuba de betão	76
Figura 3.10 - <i>Quick</i> para sistema de elevação <i>Kinshofer</i> e sistema de argola simples, respetivamente	76
Figura 3.11 - Peças inalteráveis do <i>quick</i>	77

Figura 3.12 - Peças centrais do <i>quick</i> . Círculo vermelho – reforços da zona de concentração de tensões.....	77
Figura 3.13 - Braço de suporte do tambor	77
Figura 3.14 - Tubo quadrado	77
Figura 3.15 - Chapa para fixação do contentor.....	77
Figura 3.16 - Ligação do <i>quick</i> aos niveladores	77
Figura 3.17 - Camião de recolha para contentores com sistema <i>Kinshofer</i> e o componente do sistema.....	78
Figura 3.18 - Cogumelo do sistema <i>Kinshofer</i> . Retângulo vermelho – peças de adaptação ao <i>quick</i>	78
Figura 3.19 - Roldanas guias da corrente. (1) – Roldanas; (2) – Tubo freado; (3) – Freio	78
Figura 3.20 - <i>Quick</i> visto em corte, à esquerda <i>quick</i> não atuado (portas do contentor metálico abertas), à direita <i>quick</i> atuado (portas do contentor metálico fechadas) e esquema de guiamento das correntes. Linhas pretas – correntes responsáveis pela transmissão do movimento; Linha amarela – corrente de calibre maior que as do traçado a preto, mas com a mesma função	79
Figura 3.21 - Triângulo de proteção criado pela extração da haste do sistema de argola simples, imagem à esquerda haste recolhida, imagem a direita haste esticada na posição máxima	79
Figura 3.22 - Parte extraível do sistema de argola simples	80
Figura 3.23 - Ligação da corrente ao <i>quick</i> . (1) – Freio; (2) – Elo de engate omega (3) – Cavilha.....	80
Figura 3.24 - Fixações e esforços considerados no cálculo. Setas verdes – Bloqueio dos vetores deslocamento representados (todos); Setas roxas – Localização e direção da força ...	82
Figura 3.25 - Detalhes da malha	83
Figura 3.26 - Fixações e esforços considerados no cálculo. Setas verdes – Bloqueio dos vetores deslocamento representado (todos); Setas roxas – Localização e direção da força.....	84
Figura 3.27 - Detalhes da malha	84
Figura 3.28 - Fixações e esforços considerados no cálculo. Setas verdes – Bloqueio dos vetores deslocamento representados (todos); Setas roxas – Localização e direção da força ...	85
Figura 3.29 - Detalhes da malha	86
Figura 3.30 - Aspeto da malha convergida.....	86
Figura 3.31 - Estrutura da plataforma de solo. (1) – Pormenor dos pequenos blocos de metal em que se aparafusam os pés da plataforma de solo; (2) – Chapa com ranhuras para	

facilitara a montagem e solda; (3) – Chapas em que ligam os niveladores da plataforma de solo	87
Figura 3.32 - Estrutura da plataforma de solo. (1) – Pormenor da montagem dos pés da plataforma de solo na mesma.....	88
Figura 3.33 - Pé da Plataforma de Solo.....	88
Figura 3.34 - Estrutura pedonal da plataforma de solo. (1) – Chapa que fica no interior do cabeçote; (2) – Chapa que da continuidade ao solo; (3) – Chapa que forma uma pequena rampa.....	88
Figura 3.35 - Exemplo de uma chapa recalçada.....	89
Figura 3.36 - Encaixe da plataforma de solo no aro de solo	89
Figura 3.37 - Fixações consideradas no cálculo. Setas verdes – Bloqueio da rotação e deslocamento dos vetores representados (todos)	90
Figura 3.38 - Detalhes da malha.....	91
Figura 3.39 - Afinador.....	92
Figura 3.40 - Nivelador da Plataforma de Solo.....	93
Figura 3.41 - Aro de solo em vista explodida	93
Figura 3.42 - Aro de solo	93
Figura A.1 - Contentor enterrado com cuba quadrada	1
Figura A.2 - Contentor enterrado com cuba circular de PE da SOPSA.....	1
Figura A.3 - Contentor semienterrado, com cuba circular de betão e PE da SOPSA, respetivamente	2
Figura A.4 - <i>Blee Bee</i>	2
Figura A.5 - <i>Blue Cee</i> visto de frente e em corte	3
Figura A.6 - Criação da <i>Split Line</i>	3
Figura A.7 - Elementos constituintes do Blue Cee	4
Figura A.8 - <i>Render's</i> da plataforma de segurança, sem e com, proteção da queda de transeuntes, respetivamente	5
Figura A.9 - <i>Render's</i> do sistema de extração, com e sem aro de solo, respetivamente	6
Figura A.10 - Ficheiro <i>part</i> específico para esboços	7
Figura A.11 - Criação de novo estudo.....	7
Figura A.12 - Forma de construção dos vários componentes	8
Figura A.13 - Distância do centro de gravidade ao centro do rolete na 2ª versão da Plataforma de Segurança.....	9

Figura A.14 - Distância do centro de gravidade ao centro do rolete para 2ª versão da Plataforma de Segurança com a 1ª versão do MB.....	9
Figura A.15 - Distância do centro de gravidade ao centro do rolete para 3ª versão da Plataforma de Segurança com a 4ª versão do MB.....	9
Figura A.16 - Massa prevista do sistema de extração	9
Figura A.17 - Massa prevista do contentor metálico	10
Figura A.18 - Massa prevista do tambor duplo	10
Figura A.19 - Aspeto da malha convergida	11
Figura A.20 - Distribuição dos deslocamentos resultantes.....	12
Figura A.21 - Distribuição das tensões.....	12
Figura A.22 - Distribuição das tensões superiores a 40MPa	13
Figura A.23 - Pormenor das tensões superiores a 40 MPa	13
Figura A.24 - Distribuição das tensões nos elementos viga	13
Figura A.25 - Distribuição do fator de segurança.....	14
Figura A.26 - Distribuição do fator de segurança inferior a 8.....	14
Figura A.27 - Aspeto da malha convergida	15
Figura A.28 - Distribuição dos deslocamentos resultantes.....	15
Figura A.29 - Distribuição das tensões.....	16
Figura A.30 - Distribuição do fator de segurança.....	16
Figura A.31 - Distribuição do fator de segurança inferior a 8.....	17
Figura A.32 - Distribuição dos deslocamentos resultantes.....	18
Figura A.33 - Distribuição das tensões.....	18
Figura A.34 - Distribuição das tensões superiores a 50MPa	19
Figura A.35 - Distribuição do fator de segurança.....	20
Figura A.36 - Distribuição do fator de segurança inferior a 8.....	20
Figura A.37 - Aspeto da malha convergida	21
Figura A.38 - Distribuição dos deslocamentos resultantes.....	21
Figura A.39 - Distribuição das tensões.....	22
Figura A.40 - Distribuição do fator de segurança.....	22
Figura A.41 - Distribuição das tensões superiores a 50MPa	23
Figura A.42 - Distribuição dos deslocamentos resultantes.....	24
Figura A.43 - Distribuição das tensões.....	24

Figura A.44 - Distribuição das tensões superiores a 50 MPa.....	25
Figura A.45 - Distribuição do fator de segurança	25
Figura A.46 - Distribuição dos deslocamentos resultantes	26
Figura A.47 - Distribuição das tensões	26
Figura A.48 - Distribuição das tensões superiores a 50MPa.....	27
Figura A.49 - Distribuição do fator de segurança	27
Figura A.50 - Aspeto da malha convergida.....	28
Figura A.51 - Distribuição dos deslocamentos resultantes	28
Figura A.52 - Distribuição das tensões	29
Figura A.53 - Distribuição das tensões superiores a 50MPa.....	29
Figura A.54 - Distribuição do fator de segurança	30
Figura A.55 - Estrutura tubular melhorada	30
Figura A.56 - Aspeto da malha convergida.....	31
Figura A.57 - Distribuição dos deslocamentos resultantes	31
Figura A.58 - Distribuição das tensões	32
Figura A.59 - Distribuição do fator de segurança	32
Figura A.60 - Distribuição das tensões superiores a 100 MPa.....	33
Figura A.61 - Aspeto da malha convergida.....	34
Figura A.62 - Distribuição dos deslocamentos resultantes	34
Figura A.63 - Distribuição das tensões	35
Figura A.64 - Distribuição das tensões superiores a 100 MPa.....	35
Figura A.65 - Distribuição do fator de segurança	36
Figura A.66 - Distribuição do fator de segurança inferior a 4	36
Figura A.67 - Distribuição dos deslocamentos resultantes	37
Figura A.68 - Distribuição das tensões	37
Figura A.69 - Distribuição das tensões superiores a 100 MPa.....	37
Figura A.70 - Distribuição do fator de segurança	38
Figura A.71 - Distribuição do fator de segurança inferior a 3	38
Figura A.72 - Contentor de RSU inclinado para a frente – + 5%	39
Figura A.73 - Contentor para RSU inclinado a 5% lateral.....	40
Figura A.74 - Aspeto final da Plataforma de Solo	40

Figura A.75 - Esforços considerados no cálculo. Setas de roxas – Localização e direção da força	41
Figura A.76 - Aspeto da malha convergida	41
Figura A.77 - Distribuição dos deslocamentos resultantes.....	41
Figura A.78 - Distribuição das tensões.....	42
Figura A.79 - Distribuição das tensões superiores a 100 MPa	42
Figura A.80 - Distribuição do fator de segurança.....	43
Figura A.81 - Distribuição do fator de segurança inferior a 8.....	43
Figura A.82 - Esforços considerados no cálculo. Setas de roxas – Localização e direção da força	44
Figura A.83 - Distribuição dos deslocamentos resultantes.....	44
Figura A.84 - Distribuição das tensões.....	44
Figura A.85 - Distribuição das tensões superiores a 100 MPa	45
Figura A.86 - Distribuição do fator de segurança.....	45
Figura A.87 - Esforços considerados no cálculo. Setas de roxas – Localização e direção da força	46
Figura A.88 - Distribuição dos deslocamentos resultantes.....	46
Figura A.89 - Distribuição das tensões.....	46
Figura A.90 - Distribuição das tensões superiores a 100 MPa	47
Figura A.91 - Distribuição do fator de segurança.....	47
Figura A.92 - Esforços considerados no cálculo. Setas de roxas – Localização e direção da força	48
Figura A.93 - Distribuição dos deslocamentos resultantes.....	48
Figura A.94 - Distribuição das tensões.....	48
Figura A.95 - Distribuição das tensões superiores a 100 MPa	49
Figura A.96 - Distribuição do fator de segurança.....	49
Figura A.97 - Esforços considerados no cálculo. Setas de roxas – Localização e direção da força	50
Figura A.98 - Distribuição dos deslocamentos resultantes.....	50
Figura A.99 - Distribuição das tensões.....	50
Figura A.100 - Distribuição das tensões superiores a 100 MPa	51
Figura A.101 - Distribuição do fator de segurança.....	51

Figura A.102 - Esforços considerados no cálculo. Setas de roxas – Localização e direção da força.....	52
Figura A.103 - Distribuição dos deslocamentos resultantes	52
Figura A.104 - Distribuição das tensões	52
Figura A.105 - Distribuição das tensões superiores a 100 MPa.....	53
Figura A.106 - Distribuição do fator de segurança	53
Figura A.107 - Esforços considerados no cálculo. Setas laranja – Localização e direção da força.....	54
Figura A.108 - Distribuição dos deslocamentos resultantes	54
Figura A.109 - Distribuição das tensões	54
Figura A.110 - Distribuição das tensões superiores a 100 MPa.....	55
Figura A.111 - Distribuição do fator de segurança	55
Figura A.112 - Esforços considerados no cálculo. Setas roxas – Localização e direção da força.....	56
Figura A.113 - Distribuição dos deslocamentos resultantes	56
Figura A.114 - Distribuição das tensões	56
Figura A.115 - Distribuição das tensões superiores a 100 MPa.....	57
Figura A.116 - Distribuição do fator de segurança, de notar que existe um erro neste <i>plot</i> pois o fator de segurança aparece inferior a 1.....	57
Figura A.117 - (A) – Peças centrais do <i>quick</i> , existentes e estudados; (B) – Configuração proposta e aprovada para substituir as peças centrais do <i>quick</i> existente	58

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Composição química (análise produto, teores máximos).....	9
Tabela 2 - Propriedades mecânicas.....	9
Tabela 3 - Características da mola a enviar para produção.	30
Tabela 4 - Características da mola a enviar para produção	38
Tabela 5 - Características da mola a enviar para produção	42
Tabela 6 - Estudo de convergência de malha	55
Tabela 7 - Estudo de convergência de malha	55
Tabela 8 - Estudo de convergência de malha	55
Tabela 9 - Estudo de convergência de malha	64
Tabela 10 - Estudo de convergência de malha	64
Tabela 11 - Estudo de convergência de malha	66
Tabela 12 - Estudo de convergência de malha	66
Tabela 13 - Estudo de convergência de malha	82
Tabela 14 - Estudo de convergência de malha	82
Tabela 15 - Estudo de convergência de malha	85
Tabela 16 - Estudo de convergência de malha	86
Tabela 17 - Estudo de convergência de malha	90
Tabela 18 - Estudo de convergência de malha	90

Índice de Gráficos

Gráfico 2.1 - Estudo de convergência de malha.....	55
Gráfico 2.2 - Estudo de convergência de malha.....	55
Gráfico 2.3 - Estudo de convergência de malha.....	55
Gráfico 2.4 - Estudo de convergência de malha.....	64
Gráfico 2.5 - Estudo de convergência de malha.....	64
Gráfico 2.6 - Estudo de convergência de malhaB.....	66
Gráfico 2.6 - Estudo de convergência de malha.....	66
Gráfico 2.7 - Estudo de convergência de malha.....	66
Gráfico 3.1 - Estudo de convergência de malha.....	82
Gráfico 3.2 - Estudo de convergência de malha.....	82
Gráfico 3.3 - Estudo de convergência de malha.....	85
Gráfico 3.4 - Estudo de convergência de malha.....	86
Gráfico 3.5 - Estudo de convergência de malha.....	90
Gráfico 3.6 - Estudo de convergência de malha.....	90

Simbologia e Principais Unidades

F_A – Força de atrito

μ – Coeficiente de atrito

$FA, FB, FN, FM, FBA, FMR, A_X, A_Y, C_X, C_Y$ – Designação das forças envolvidas nos cálculos

N – Força normal a superfície – Coeficiente de segurança – Newtons

P – Massa – Força

P_{max} – Força máxima aplicada na mola de torção

g – Aceleração da gravidade

C – Índice da mola

E – Módulo de *Young*

τ_{ced} – Tensão de corte para a cedência do material

τ_{max} – Tensão de corte máxima no arame da mola

τ_{adm} – Tensão de corte admissível

σ_{adm} – Tensão normal admissível

σ_{ced} – Tensão normal de cedência

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – Tensões principais

σ_{rot} – Tensão de rotura

R_1 – Distância entre o ponto de aplicação da força P_{max} e o centro do enrolamento da mola

ν – Coeficiente de *Poisson*

K_B – Fator de correção do esforço cortante

K – Fator de correção do esforço cortante para molas de torção

D – Diâmetro médio do enrolamento

d – Diâmetro do arame

δ – Deformação da mola

L_0 – Dimensão máxima da mola atuada

L – Dimensão da mola em repouso

L_f – Dimensão final da mola em repouso

G – Módulo de elasticidade transversal

p – Passo

n – Número de espiras

n_1 – Número de espiras real

θ – Deformação angular

U_X, U_Y, U_Z – Deslocamentos segundo X, Y e Z

X, Y, Z – Vetores deslocamento

$URES$ – Deslocamento resultante

σ_{VM} – Tensão de *von Mises*

FOS – Fator de segurança

TL_3 – Massa de teste

TL_4 – Massa de teste

V_n – Volume nominal

ρ – Densidade

Principais unidades utilizadas:

l – Litros

m – Metros

mm – Milímetros

s – Segundos

min – Minutos

MPa – Mega pascais

kg – Quilograma

kgf – Quilograma força

rad – Radianos

Abreviaturas e Siglas

RSU – Resíduos sólidos urbanos

MSW – *Municipal solid waste*

CEO – Diretor executivo

ISEC – Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

CAD – *Computer aided design*

CAE – *Computer aided engineering*

MEF – Método dos elementos finitos

CNC – *Computer Numeric Control*

POM – Poliacetal

PE – Polietileno

MB – Mecanismo de bloqueio

K7 – Cassete (parte estrutural do MB)

2D – Duas dimensões

3D – Três dimensões

pág. – Página

Eng. – Engenheiro

Capítulo 1. Introdução

1.1. Enquadramento

O presente relatório de estágio, desenvolvido no âmbito do Mestrado em Engenharia Mecânica do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, visa descrever as metodologias adotadas no desenvolvimento de contentores enterrados para resíduos sólidos urbanos (RSU).

O estágio decorreu na empresa *MODO exato Design*, sediada em Leiria, que se dedica ao desenvolvimento de produto. A empresa é constituída por dois *designers* industriais, um engenheiro mecânico e uma *designer* gráfica. O seu ambiente multidisciplinar permite criar um produto em todas as suas vertentes, quer o seu aspeto geral, quer os seus componentes e funcionalidades. Devido a esse facto, o autor teve a possibilidade de integrar diversos projetos, em estágios diferentes de desenvolvimento, o que se revelou uma clara mais-valia e uma experiência profissional muito enriquecedora.

O projeto de desenvolvimento de contentores enterrados para resíduos sólidos urbanos foi solicitado pela empresa, SOPSA – representação e comercio, SA. Esta empresa produz e distribui contentores enterrados e semienterrados de 3 m^3 e 5 m^3 .

Este projeto foi sem dúvida, o mais complexo e mais demorado de todos os que o autor teve oportunidade de participar. Além disso, como estava a ser iniciado no momento em que o estágio começou, foi possível realizar todas as tarefas necessárias para o seu desenvolvimento.

1.2. Necessidade da Presente Investigação

Existem atualmente variadas soluções de contentores enterrados noutras empresas, na sua maioria têm em comum a forma geométrica da estrutura subterrânea utilizada (poço/cuba). Todas as empresas que produzem e distribuem contentores enterrados para RSU do conhecimento do autor do relatório, excetuando a empresa SOPSA, a estrutura subterrânea tem a forma retangular (figura A.1, pág. 1 dos anexos).

A SOPSA encontra-se presente no mercado nacional e internacional, apenas com produtos com a estrutura subterrânea de forma circular, tanto para os contentores enterrados como para os semienterrados (figuras A.2 e A.3, pág. 1 e 2 dos anexos).

Devido ao facto deste mercado ser muito competitivo, a SOPSA, pretende aumentar o leque de alternativas que pode fornecer a futuros clientes. A única solução de contentores enterrados que esta empresa possui é designada de *Blue Bee* (Figura A.4, pág. 2 dos anexos), e é constituída por vários elementos, nomeadamente, um cabeçote, uma plataforma de solo, um aro de solo, um poço de plástico, um saco de elevação com capacidade de 5000 l e um varandim de proteção, também designado por barreira de proteção.

Para o novo produto solicitado, a SOPSA requer que o cabeçote não seja um componente estrutural como no *Blue Bee*, e seja apenas uma capa, possibilitando a existência de várias configurações do mesmo. Requer, ainda, que o contentor metálico usado seja o mesmo dos

contentores semienterrados e, que seja construído para trabalhar na cuba de betão existente na empresa.

O novo produto da SOPSA, criado no decorrer do estágio curricular, tem como nome *Blue Cee* (Figura A.5 e A.7, pág. 3 e 4 dos anexos), e é constituído por vários elementos: um cabeçote, um sistema de extração, um contentor metálico, uma plataforma de segurança, um aro de solo, quatro calhas e uma cuba de betão.

Todos os contentores de lixo estão regulamentados por normas europeias. O contentor que o presente relatório descreve é um contentor enterrado de 5 m^3 que segue a norma europeia EN13071 (2008). Esta norma estabelece o mínimo de resistência mecânica que o mesmo deve ter, focando-se essencialmente em três componentes: plataforma de segurança, plataforma de solo e a estrutura de elevação do contentor. Após a bateria de testes previstos na norma, nenhum dos elementos referidos poderá ficar inoperacional.

1.3. Objetivos e Metodologia

1.3.1. Principais objetivos

O principal objetivo deste projeto é desenvolver o protótipo de um contentor, que cumpra os requisitos impostos pela norma europeia EN13071 (2008) e os requisitos impostos pelo cliente. Como os requisitos são muitos e variados serão apenas abordados em pormenor, nos respetivos capítulos e subcapítulos. A seguir, faz-se um resumo dos principais requisitos, bem como da estrutura do presente relatório.

O Capítulo 2 contempla as várias etapas do desenvolvimento e modelação da plataforma de segurança (figura A.8, pág. 5 dos anexos), bem como a análise estrutural da mesma. Para este elemento a norma (EN13071-2, 2008) estabelece que quando o contentor é retirado para descarga do lixo, ou manutenção, a plataforma de segurança deve ir para a posição de segurança automaticamente. A posição de segurança deve ser estudada de forma a assegurar que, a altura entre a plataforma e em todos os pontos da calçada onde transitam os peões, seja inferior a 210 mm . Além disso, a plataforma de segurança deve resistir a uma força mínima de 150 kgf aplicada por um disco com 300 mm de diâmetro. Este teste deve ser realizado no mínimo em oito pontos. Durante a aplicação da força, a plataforma não pode mover-se mais de 150 mm no sentido descendente. Após o teste, a plataforma de segurança tem de estar completamente operacional e não apresentar qualquer deformação.

O Capítulo 3 contempla as várias etapas de desenvolvimento e modelação do sistema de extração (figura A.9, pág. 6 dos anexos), bem como a análise estrutural de alguns componentes. Este sistema é composto por vários elementos, nomeadamente a estrutura que permite a elevação do contentor designada de *quick*, a plataforma de solo, os niveladores da plataforma de solo, e o aro de solo. Cada um destes elementos é desenvolvido em função de vários requisitos que podem ser da norma, do cliente, ou de ambos.

Uma das exigências impostas pela norma (EN13071-1, 2008) relativamente ao elemento *quick* (figura 3.10, pág. 76) refere, que este deve ter capacidade de suportar o esforço provocado

pela massa do volume nominal do contentor em lixo multiplicado por um coeficiente de segurança de 3,5. Para além deste requisito da norma, o requerente do projeto pretende ainda, que este elemento com poucas alterações trabalhe com um de dois sistemas de elevação que são:

- O sistema *Kinshofer* – Funciona pelo princípio macho-fêmea. Na parte superior do contentor de RSU encontra-se a parte macho (figura 3.18, pág. 78) e a parte fêmea é um aplique que é introduzido na grua do camião de recolha de RSU (figura 3.17, pág.78);
- O sistema de argola simples – Consiste no encaixe do gancho da grua do camião (figura A.2, pág. 1 dos anexos) numa chapa em forma de argola posicionada na parte superior do contentor de RSU (figura 3.22, pág.80).

A norma (EN13071-2, 2008) prevê que a plataforma de solo (figura A.74, pág. 40 dos anexos), no seu normal funcionamento, seja capaz de suportar uma solicitação accidental, como por exemplo a passagem da roda de um carro por cima da mesma. Para simular esta solicitação nos testes de normalização a plataforma deve ser solicitada por uma força de 500 *kgf* aplicada por um dispositivo de forma circular com 200 *mm* de diâmetro.

Os vários elementos do sistema de extração deverão ter capacidade de impedir que as águas pluviais entrem dentro do contentor metálico e na cuba de betão, por sua vez também deverão ter capacidade de absorver os desníveis da calçada até $\pm 5\%$ ($\pm 2,86^\circ$), em duas direções ortogonais.

1.3.2. Software usado na conceção do projeto

Em todas as fases de desenvolvimento deste projeto foi utilizado o *software SolidWorks* (SolidWorks, 2015). Este é um *software* de CAD/CAE (siglas anglo-saxónicas designam *computer-aided design* e *computer aided engineering*, respetivamente). Essencialmente esta ferramenta baseia-se em computação paramétrica, criando formas tridimensionais a partir de formas geométricas elementares, o que permite aos projetistas mecânicos esboçar ideias com rapidez, produzir modelos, desenhos detalhados, e fazer simulações numéricas. O termo CAE designa um conjunto de técnicas que permitem a avaliação de vários aspetos de um produto geralmente concebido através de CAD.

O sistema CAE mais usado atualmente é baseado no Método dos Elementos Finitos (MEF). O MEF é uma técnica numérica, que devido à sua flexibilidade para lidar com geometrias e carregamentos complexos, é muito usada em projetos de engenharia. O MEF é aceite como método padrão de análise devido à sua generalidade e, também, por ser bastante adequado para implementação em computadores. O MEF divide o modelo (figura 1.1) em muitas partes pequenas de formas simples (figura 1.2), denominadas de elementos finitos, substituindo eficazmente um problema complexo por muitos problemas simples que devem ser resolvidos simultaneamente.

Os elementos finitos partilham pontos comuns, chamados nós. O processo de divisão dos modelos em partes pequenas é chamado de geração de malha.

O comportamento de cada elemento é bem conhecido quando sujeito a todos os cenários possíveis de carga e apoio. O método dos elementos finitos usa elementos de diferentes formas.

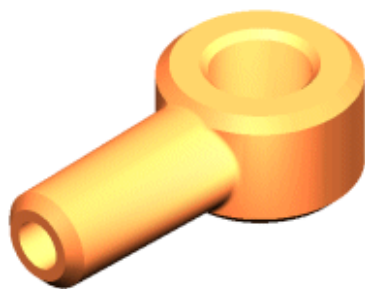


Figura 1.1 - Modelo CAD de uma peça

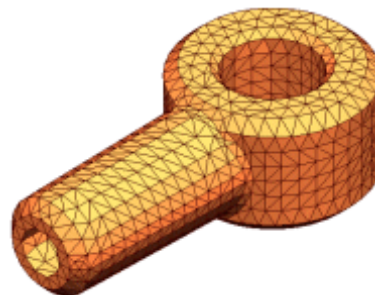


Figura 1.2 - Modelo CAD de uma peça dividido em partes menores (elementos)

A resposta num ponto qualquer de um elemento é interpolada a partir da resposta dos nós do elemento (figura 1.3). Cada nó é completamente descrito por vários parâmetros, incluindo funções de forma, que dependem do tipo de análise e do tipo de elemento finito usado. Por exemplo, a temperatura de um nó descreve plenamente a sua resposta em análises térmicas. De uma forma geral, em análises estruturais, a resposta de um nó é descrita por três translações e três rotações, que são chamadas de graus de liberdade. A análise observada no *MEF* é geralmente designada de Análise por Elementos Finitos.

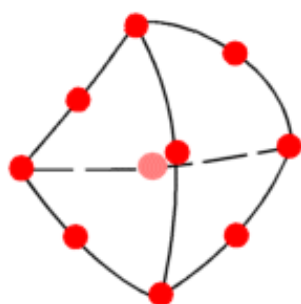


Figura 1.3 - Elemento tetraédrico. Os pontos vermelhos representam nós. As arestas de um elemento podem ser curvas ou retas

O *software* formula as equações que controlam o comportamento de cada elemento levando em consideração a conectividade com outros elementos. Essas equações relacionam a resposta a restrições, cargas e propriedades de materiais que são conhecidas. Em seguida, o programa organiza as equações, num conjunto de equações algébricas simultâneas e calcula as incógnitas. Por exemplo, para a análise de tensões, o *Solver* encontra os deslocamentos em cada nó, e o programa calcula-as respectivas tensões e deformações (SolidWorks, 2014).

1.3.3. Metodologia usada na construção das várias peças

Para facilitar a construção e permitir uma melhor regulação dimensional dos elementos, dentro da montagem geral (*Assembly Principal*), foram criados ficheiros *Part*, em que estes contêm todos os esboços relevantes na construção. A figura A.10 (pág. 7 dos anexos) ilustra os esboços dos vários elementos móveis dos mecanismos de bloqueio.

Retificados os desenhos para dimensões e formas que assegurem um correto funcionamento, procede-se à modelação. A modelação requer a criação de um esboço. Nesse esboço é criada uma hiperligação entre este e o ficheiro que contém os esboços gerais com a ferramenta *convert entities* do separador *sketch*.

Na empresa onde o autor realizou o estágio, a fase de modelação segue normalmente o seguinte padrão: dentro da montagem principal (*Top Level Assembly*), são criadas montagens secundárias, consoante o número de componentes que terão de ser montados nesta fase; Dentro

de cada montagem secundária podem ainda ser criadas montagens de 3º nível e assim sucessivamente até que se obtenham as peças isoladas das montagens (Figura A.12, pág. 8 dos anexos).

Todas as chapas e blocos metálicos cujo processo de produção envolva corte laser, jato de água, ou plasma, são construídos com a ferramenta *sheet metal*. Também são construídas com esta ferramenta todas as chapas metálicas que no seu processo de produção necessitem de ser quinadas. Esta ferramenta permite planificar as peças calculando automaticamente o material necessário, o local da quinagem, e ainda guardar os ficheiros em formato legível nas máquinas de corte e quinagem *CNC* (*Computer Numeric Control*).

Um dos grandes benefícios em usar a ferramenta *sheet metal*, para além das descritas anteriormente surge na fase de cálculo, pois as chapas metálicas são vistas pelo *software* como superfícies com espessura, criando automaticamente na geração de malha elementos casca, o que facilita o cálculo e melhora a qualidade dos resultados.

Todos os componentes com perfil tubular foram criados com a ferramenta *structural members* incluída no menu *weldments*. Esta ferramenta permite ter vários perfis guardados, facilitando a construção de estruturas. Em cálculo o *SolidWorks* cria elementos e ligações próprias para os *structural members*, facilitando os cálculos.

Sempre que possível foram usadas as ferramentas de modelação descritas em cima em detrimento da ferramenta *features*.

1.3.4. Metodologia de dimensionamento

Durante a conceção deste projeto foi necessário realizar dimensionamentos de molas analiticamente, e verificar a resistência estrutural de alguns componentes com o *SolidWorks*. O dimensionamento de molas foi realizado como se encontra descrito no ponto 2.3.1.4. tópico V (pág. 25), e no ponto 2.3.4.1. tópico VI e VII (pág. 38 e 39). O dimensionamento da resistência de componentes estruturais foi realizado com as ferramentas disponíveis de *CAE* do *SolidWorks*.

Devido a existência de limitações de *software* e *hardware* o dimensionamento teve que se processar da seguinte forma:

- Durante a fase de desenvolvimento do conceito, e criação de desenho, as análises estruturais que permitiram o dimensionamento foram realizadas com o *software standard* da *SolidWorks*. Este *software* é limitado em vários aspetos, exige a criação de um modelo contínuo da estrutura em análise, e não permite ter em conta todas as considerações necessárias para realizar um estudo que se aproxime da realidade. A criação de um modelo contínuo, que possa ser analisado por este *software* exige bastante tempo, e os resultados obtidos com ele, são apenas aproximações aos resultados obtidos com versões superiores do mesmo *software*, não se devendo ter estes estudos em consideração para dimensionamentos finais de qualquer estrutura.
- Finalizada a fase de conceito e desenvolvimento, procedeu-se à análise estrutural com a versão *premium* do *SolidWorks*.

Neste trabalho, nas análises com elementos finitos foram considerados apenas, carregamentos estáticos. As análises estáticas, no *SolidWorks*, são efetuadas da seguinte forma: no separador das simulações (*Simulation*) abre-se a extensão do *Study Advisor*, clica-se em novo estudo (*New Study*), este abre uma janela e aciona-se o estudo estático (*Static*) conforme a figura A.11 (pág. 7 dos anexos), e, seguidamente valida-se a opção.

Para um correto dimensionamento da resistência estrutural dos vários componentes, é necessário estabelecer algumas considerações.

Em todos os cálculos estruturais realizados, foram suprimidos os elementos móveis. Estes elementos apenas dificultariam a geração de malha e necessitariam de elevados recursos computacionais para serem processados. Para os suprimir foram estabelecidas certas considerações que serão discutidas nos capítulos apropriados.

Outra das considerações a ter em conta é o tipo de ligações entre as várias chapas e tubos que formam os vários componentes estruturais. Na construção de cada elemento do contentor, as ligações entre chapas e as ligações entre tubos serão soldadas. Em modelação o *SolidWorks* permite estabelecer ligações soldadas entre componentes, já o mesmo não se verifica a 100% em cálculo. As ligações soldadas que o *SolidWorks* permite em cálculo são limitadas, não permite estabelecer todas as configurações usadas nem permite estabelecê-las em todos os sítios necessários. Devido a esse facto, o autor não usou este tipo de ligações, optando por usar ligações *Bonded* do menu *contact sets*. Este tipo de ligações considera que as várias chapas são ligadas rigidamente entre si, substituindo as ligações soldadas.

Uma das considerações mais importantes é a localização das fixações e da força no estudo, esta deve ser localizada em locais específicos para ter o efeito desejado. Para garantir essa localização em alguns estudos foi necessário usar a ferramenta *Split Line*, esta ferramenta permite criar um corte imaginário em locais específicos. Com este corte é possível aplicar no local pretendido as fixações e a força (figura A.6, pág. 3 dos anexos).

Depois de todas as considerações tomadas inicia-se o cálculo. A primeira fase do cálculo é a criação da malha. Quando pretendemos analisar uma peça, construída como um sólido, o *SolidWorks* permite criar, por defeito, uma das duas malhas apresentadas em seguida:

- Malha com qualidade de rascunho (*Draft quality mesh*) – O gerador automático de malhas gera uma malha com elementos tetraédricos sólidos lineares. Estes elementos são de pouca complexidade de cálculo que exigem poucos recursos ao computador (figura 1.4);
- Malha de alta qualidade (*High quality mesh*) – O gerador automático de malhas gera uma malha com elementos tetraédricos parabólicos. Estes necessitam de mais recursos computacionais, representam arestas curvas, envolvem melhor a peça e produzem melhores aproximações matemáticas, para o mesmo número de elementos de malha (figura 1.5).

Para problemas estruturais, cada nó de um elemento sólido possui 3 graus de liberdade que representam as translações nas 3 direções ortogonais.

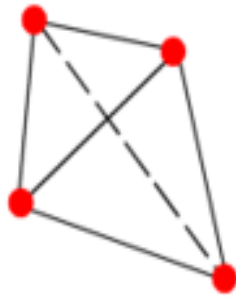


Figura 1.4 - Elementos tetraédricos lineares

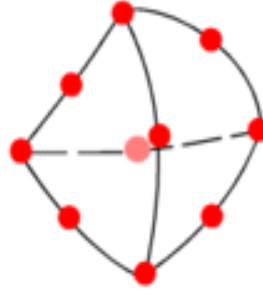


Figura 1.5 - Elementos tetraédricos parabólicos

Quando se pretende calcular uma peça que tenha sido construída com superfícies ou com a ferramenta *sheet metal*, ou, ainda, se for alterada a forma como o *SolidWorks* vê um sólido, passando-o a ver como uma superfície, este irá formar uma malha de casca, com elementos triangulares, que poderá ter uma das configurações apresentadas em seguida:

- Malha com qualidade de rascunho (*Draft quality mesh*) – O software gera uma malha com elementos de casca triangulares lineares (figura 1.6).
- Malha de alta qualidade (*High quality mesh*) – O software gera uma malha com elementos de casca triangulares parabólicos (figura 1.7).

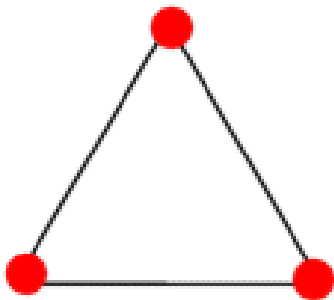


Figura 1.6 - Elementos triangular lineares

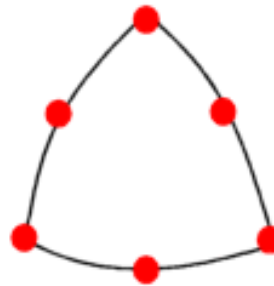


Figura 1.7 - Elementos triangular parabólico

No cálculo de problemas estruturais com elementos casca, cada nó possui 6 graus de liberdade que representam as translações nas 3 direções ortogonais e 3 rotações em torno dos eixos ortogonais (figura 1.8).

A malha pode também ser mista, esta é atribuída automaticamente quando o programa deteta ambas as geometrias, sólidas e de superfície.

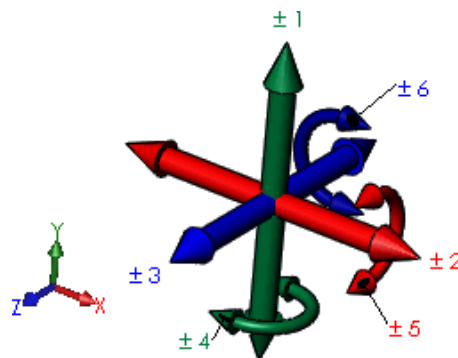


Figura 1.8 - Graus de liberdade nos eixos ortogonais

Quando utilizada a ferramenta *Structural Member* dos *Weldments* para criar vigas, o *SolidWorks* cria automaticamente uma malha com elementos viga, identifica as articulações e conexões entre vigas, elementos estruturais e não-estruturais, desde que se toquem ou estejam dentro de uma determinada tolerância. Um elemento viga é um elemento comprido, definido por dois pontos na extremidade e uma secção transversal. Os elementos de viga são capazes de resistir a forças axiais, a forças de flexão, de corte e cargas de torção. Se forem feitas treliças estas apenas resistem a cargas axiais. (SolidWorks, 2014).

O estudo de estruturas pelo método de elementos finitos é um tipo de estudo bastante fiável mas tem de se ter em atenção vários aspetos como sejam:

- Aspeto da malha;
- Distribuição dos nós da malha;
- Tamanho dos elementos da malha.

Quanto maiores forem os elementos da malha, mais fácil é para o computador calcular, mas menos fiáveis são os resultados. Se os elementos da malha forem pequenos, o computador necessita de mais tempo para efetuar os cálculos mas os resultados são mais fiáveis.

Para se conseguir chegar a uma malha fiável, que não seja demasiado refinada nem dê resultados pouco fiáveis, realiza-se um estudo de convergência de malha. Nestes estudos testam-se tamanhos diferentes de elementos para várias malhas.

Neste trabalho, considerou-se que a convergência ocorria quando a variação dos deslocamentos máximos entre os resultados imediatamente antes ou depois eram, o menor possível, sendo que sempre inferiores a 1%.

1.4. Material Usado

O material utilizado neste trabalho foi o aço DIN S275JR (EN10025, 2004; Grupo Ferpinta). A composição química e as principais propriedades mecânicas estão indicadas nas Tabelas 1 e 2, respetivamente.

Tabela 1 - Composição química (análise produto, teores máximos)

Material		C em % max. espessura nominal [mm]			Mn % max.	P % max.	S % max.	N % max.	Cu % max.
Conforme EN 10027 e CR10260	Con- forme EN 10027-2	≤ 16	> 16 ≤ 40	> 40					
S275JR	1.0044	0,24	0,24	0,25	1,60	0,045	0,045	0,014	0,6

Tabela 2 - Propriedades mecânicas

Limite de cedência mínimo		Tensão de cedência [MPa] espessura nominal [mm]			Tensão de rutura [MPa] espessura nominal [mm]				Extensão mínima [%]
Conforme EN 10027 e CR10260	Con- forme EN 10027-2	≤ 16	> 16 ≤ 40	> 40 ≤ 63	< 3	≥ 3 ≤ 100	≥ 100 ≤ 150	≥ 150 ≤ 250	L ₀ = 80 mm
S275JR	1.0044	275	265	255	430 a 580	410 a 560	400 a 540	380 a 540	18

Capítulo 2. Plataforma de Segurança

2.1. Introdução

Este capítulo trata o desenvolvimento e dimensionamento estrutural da plataforma de segurança. A plataforma de segurança desenvolvida no decorrer do estágio é constituída por uma estrutura tubular e quatro K7s. No interior de cada K7 funciona o mecanismo de bloqueio. A atuação e funcionamento da plataforma de segurança será discutida no ponto 2.3. (Mecanismo de Bloqueio), a estrutura da plataforma de segurança no ponto 2.4. (Estrutura Resistente da Plataforma de Segurança) e a análise estrutural no ponto 2.5. (Ensaio de Resistência Estrutural).

2.2. Considerações Iniciais

O ponto 4.3.1 dos requerimentos de segurança da norma EN13071-2 (2008), prevê que durante as operações supervisionadas, um buraco mais fundo que 500 mm, medido de qualquer ponto, deverá conter um equipamento de segurança, de forma a prevenir eventuais acidentes. A norma prevê que o mecanismo possa ter duas configurações:

- Barreira protetora (Varandim de Segurança);
- Chão protetor (Plataforma de Segurança).

No início deste projeto foi realizado um *brainstorming*, entre os vários elementos da equipa e foram discutidas as duas possibilidades de mecanismos de segurança. De forma a visualizar-se melhor o projeto, foram abordadas várias perspetivas. De entre essas, destacam-se três pontos de vista particularmente importantes:

- Ponto de vista do camionista/operador de grua – Este será quem lida no dia-a-dia com o contentor; quem irá estar satisfeito ou insatisfeito com a operacionalidade do mesmo; quem irá dar feedback ao comprador do produto. Devido aos aspetos referidos, considerou-se o ponto de vista mais relevante;
- Ponto de vista do construtor – É importante que seja fácil de construir pois uma fácil construção leva a redução de custos inerentes à produção;
- Ponto de vista de quem instala – É importante que a instalação seja fácil de conseguir para reduzir custos inerentes a esta, e evitar danos resultantes de uma instalação deficiente;
- Ponto de vista de quem usa – Utilizador comum do contentor, não tem interação direta com este componente específico, e por isso não é um ponto de vista tão relevante como os anteriores.

Como referido acima aquando a fase de decisão, entre escolher, estudar e projetar uma barreira protetora ou chão protetor, o ponto de vista do operador de grua foi o que se teve em conta.

Olhando para o projeto pelo ponto de vista do operador da grua, verifica-se que com folgas muito reduzidas seria difícil e moroso colocar o contentor metálico na barreira protetora

e posteriormente na cuba. Tal desvantagem não existe com a plataforma de segurança. Outra desvantagem da barreira protetora é a sua suscetibilidade a impactos fortes com o contentor metálico, o que leva a deformações que põem em causa o normal funcionamento do sistema. Tendo em conta estas desvantagens, optou-se pela plataforma de segurança.

Os modelos existentes de plataformas de segurança funcionam com o sistema de contrapesos e são instalados em cubas quadradas. O que é novo neste projeto é, por um lado, o facto de a cuba ser redonda e, por outro, o facto da plataforma de segurança não funcionar por contrapesos. Estes dois aspetos inovadores representam claramente, uma nova abordagem ao sistema.

O funcionamento da plataforma de segurança por contrapesos tem algumas vantagens mas também tem grandes desvantagens. Uma das vantagens é o facto de poder ser pouco espessa, diminuindo por conseguinte o espaço inutilizável para RSU dentro da cuba. Por sua vez uma desvantagem deste sistema é a imprevisibilidade das falhas do produto. O elo de ligação entre os contrapesos e a plataforma de segurança são cabos de aço, estes devido aos lixiviados libertados pelos RSU tornam-se muito suscetíveis a oxidação. A oxidação ocorre sobre tensão, levando a uma difícil previsão do instante de rutura. Esta ocorrência poderia ser evitada se os clientes não menosprezassem a manutenção.

Tendo em conta todos os fatores descritos em cima, a equipa criou um novo tipo de plataforma de segurança, que resolve alguns dos problemas existentes e torna este componente dos contentores enterrados mais fiável.

2.3. Mecanismo de Bloqueio (MB)

Entende-se por mecanismo de bloqueio os vários componentes móveis e fixos da plataforma de segurança responsáveis pelo bloqueio da mesma na posição de segurança.

Definido o tipo de plataforma de segurança a desenvolver, e excluindo a opção de utilizar contrapesos para a elevação e sustentação da mesma na posição de segurança, surgiu a 1ª versão do mecanismo de bloqueio, descrita no ponto 2.3.1., e que irá ser a parte fulcral da plataforma de segurança.

Com o avançar do projeto, a ideia da 1ª versão do mecanismo de bloqueio foi amadurecendo juntamente com a estrutura da plataforma de segurança, levando a criação das versões 1.1, 1.2 e 1.3.

A criação da versão 1.3 do MB possibilitou a criação de outros tipos de configurações, como seja a 2ª, 3ª e 4ª versão do MB. Destas versões, a 2ª e a 3ª foram excluídas, pois teoricamente apresentavam demasiada incerteza de funcionamento.

2.3.1. 1ª Versão do mecanismo de bloqueio

A 1ª versão do MB é uma versão bastante básica que funciona com transmissão direta de um movimento rotativo de uma peça tipo alavanca (gancho) para um movimento linear. Este movimento tem dois sentidos que coincidem com o avanço do ferrolho, e o oposto, no qual, o acionamento do ferrolho é feito com uma mola e o seu retorno é provocado pela rotação do gancho.

As figuras 2.1, 2.2 e 2.3 são referentes à versão atual da plataforma de segurança, considerado a versão 1.3 do MB.

Analizando as figuras seguintes é fácil entender o comportamento esperado da plataforma de segurança em funcionamento. A figura 2.1 representa a plataforma de segurança acoplada ao contentor metálico, quando estes se encontram no fundo da cuba de betão.



Figura 2.1 - Contentor metálico e plataforma de segurança no fundo da cuba de betão

Quando o contentor metálico é extraído, a plataforma de segurança sobe solidariamente com este até à posição de segurança (figura 2.2).

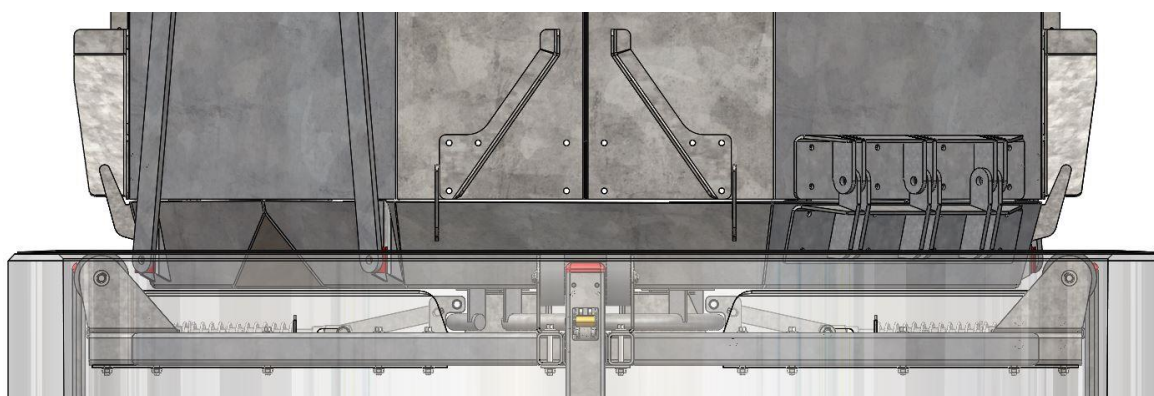


Figura 2.2 - Plataforma de segurança na posição de segurança, ainda acoplada ao contentor metálico

Na posição de segurança o MB atua, prendendo a plataforma de segurança às calhas e soltando o contentor metálico (Figura 2.3).

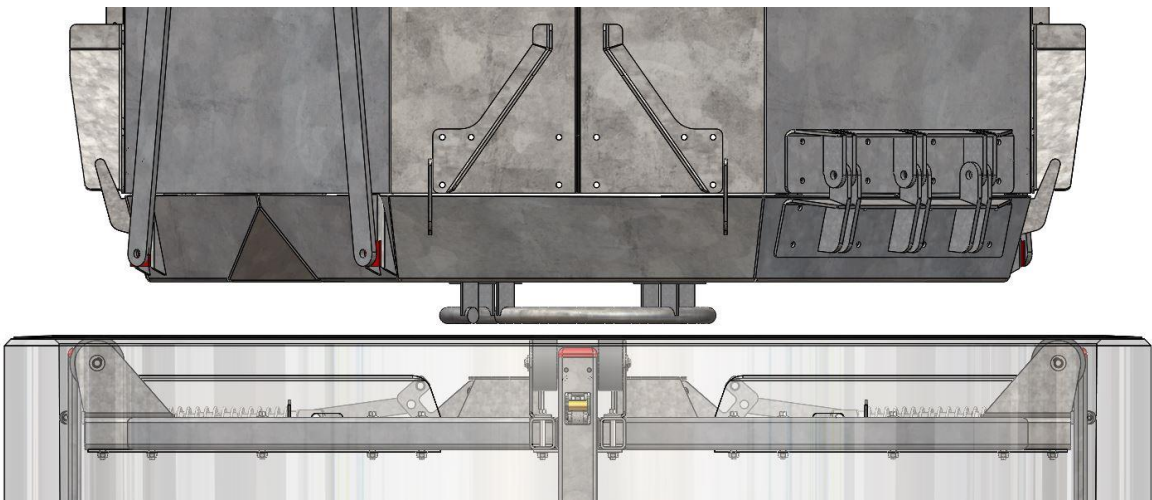
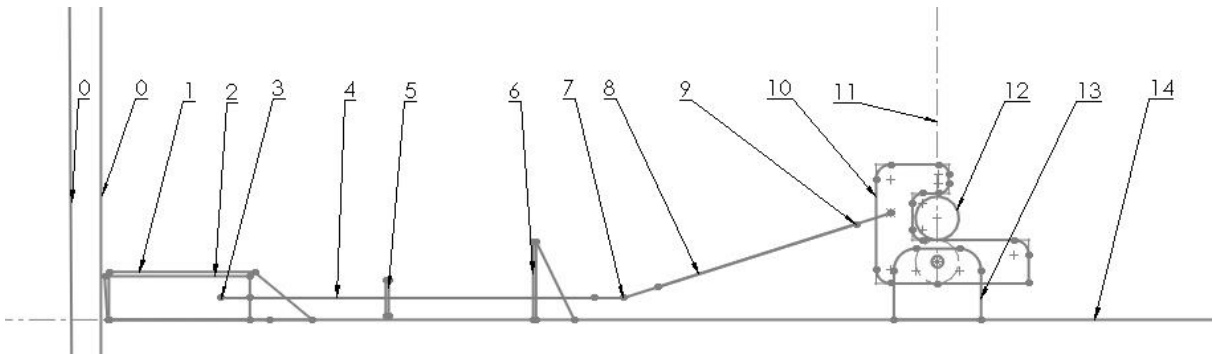


Figura 2.3 - Plataforma de segurança na posição de segurança, desacoplada do contentor metálico

O princípio de funcionamento deste mecanismo será explicado, com mais detalhe, no ponto 2.3.1.1.

2.3.1.1. Versão 1.1 do MB

Este MB deve ser analisado em duas etapas, quando a plataforma de segurança acopla ao contentor e quando o contrário se sucede.



0 – Calha/tubo	7 – Ligação entre varões roscados
1 – Caixa guia do ferrolho	9 – Ligação entre o varão roscado e o gancho
2 – Ferrolho	10 – Gancho
3 – Ligação entre o ferrolho e o varão roscado	11 – Linha que prevê o movimento do contentor metálico para o encaixe na plataforma
4/8 – Varão roscado	12 – Varão calandrado que liga a plataforma de segurança ao contentor metálico
5 – Ligação da mola ao varão roscado (entre o 5 e 6 encontra-se a mola)	13 – Ligação do gancho a plataforma de segurança
6 – Ligação da mola à plataforma	14 – Plataforma de segurança

Figura 2.4 - Esboço da versão 1.1 do MB

Quando o camião de recolha de RSU retira o contentor (figura 2.4), obriga a plataforma de segurança a subir. Durante toda a subida, a plataforma é guiada pelas calhas (0). As calhas na posição desejada terão uma abertura e nela irá entrar o ferrolho (2). O ferrolho e o gancho (10) serão acionados pela mola que se encontra entre os pontos 5 e 6, e à primeira oportunidade,

o gancho desacopla do varão calandrado (12), ficando a plataforma na posição de segurança (figura 2.5) e o contentor de RSU livre para ser descarregado.

Depois da descarga dos RSU estar finalizada, o contentor é colocado novamente na cuba de betão, voltando a acoplar-se à plataforma de segurança. Este processo inicia-se quando o contentor metálico entra em contacto com a plataforma de segurança. O varão calandrado do contentor metálico obriga o gancho da plataforma de segurança a rodar sobre o seu eixo. A geometria do gancho e o ponto de contacto entre este e o varão roscado (9) garantem que o gancho ao rodar traciona todos os elementos do mecanismo de bloqueio, comprime a mola e retira o ferrolho da abertura da calha, permitindo, por sua vez, que a plataforma desça em uníssono com o contentor até ao fundo da cuba de betão, voltando à posição inicial.

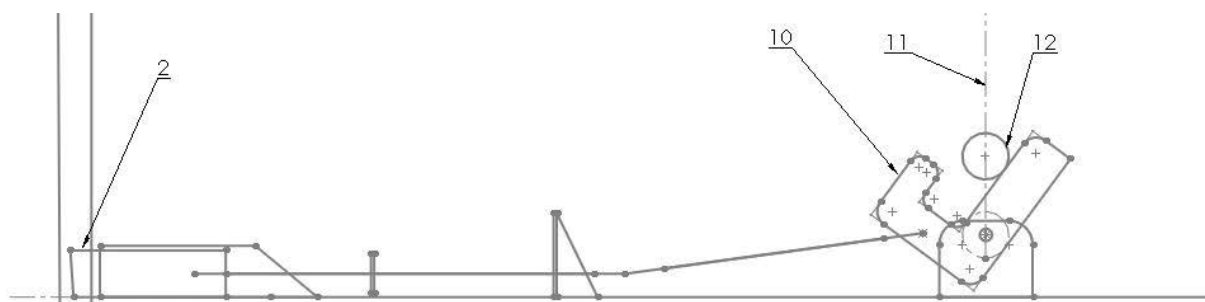


Figura 2.5 - Esboço da versão 1.1 do MB. (2) – Ferrolho; (10) – Gancho; (11) – Linha que prevê o movimento do contentor metálico para o encaixe na plataforma; (12) – Varão calandrado que liga a plataforma de segurança ao contentor metálico

A modelação desta versão surgiu para ajudar a consolidar a ideia deste MB e para apurar possíveis falhas, problemas e melhorias possíveis de realizar (figura 2.6).

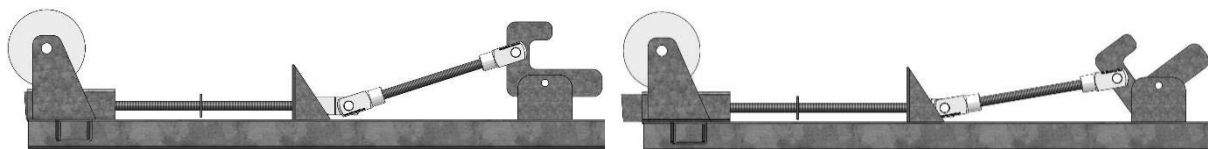


Figura 2.6 - Versão 1.1 do MB aberto/fechado, respetivamente

Modelada a estrutura da plataforma de segurança e do mecanismo de bloqueio (figura 2.7) foi possível avaliar de uma forma mais assertiva quais os problemas que necessitariam de ser corrigidos. Algumas das falhas notadas não estavam presentes no princípio de funcionamento, mas na forma construtiva do mecanismo. Uma das falhas mais problemáticas deve-se ao elevado atrito entre o ferrolho e a caixa guia do ferrolho. Outra deve-se à forma de guiamento dos elementos móveis. Estas falhas, e outras de menor relevo, foram corrigidas nas versões seguintes do mecanismo de bloqueio. As falhas apresentadas, bem como as soluções propostas, serão abordadas em detalhe, no ponto 2.3.1.4.

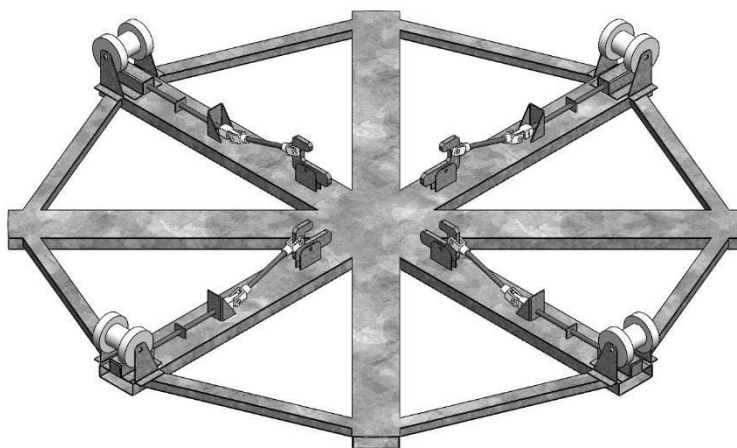


Figura 2.7 - Versão 1.1 do MB com a plataforma de segurança correspondente

2.3.1.2. Versão 1.2 do MB

Esta versão é uma adaptação da anterior a uma estrutura constituída com tubos estruturais de secção transversal retangular. A alteração da estrutura da plataforma deveu-se à necessidade de aumentar a resistência estrutural.

Na adaptação do mecanismo de bloqueio a esta estrutura, foram realizadas algumas melhorias no desenho dos componentes móveis (figura 2.8) e resolvidos alguns dos problemas presentes na versão anterior. As alterações e melhorias são descritas no ponto 2.3.1.4.

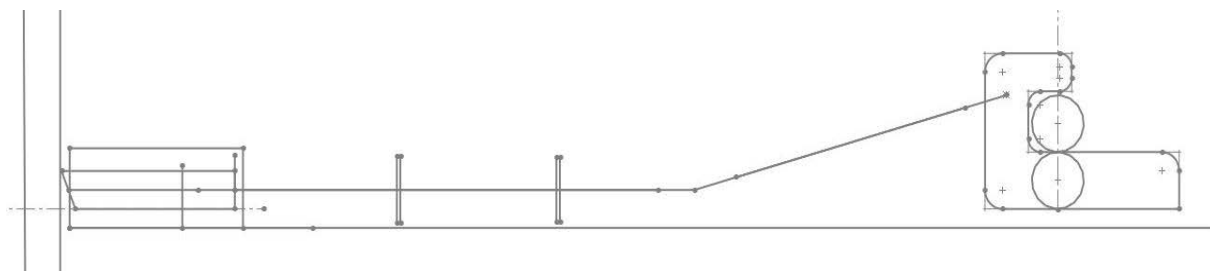


Figura 2.8 - Esboço da versão 1.2 do MB

Avaliando o MB modelado, (figura 2.9 e 2.10) e a plataforma (figura 2.11) é possível notar que esta versão é consideravelmente mais robusta que a anterior.

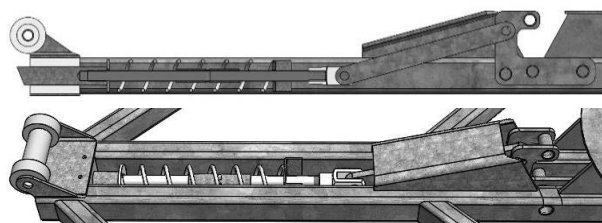


Figura 2.9 - Versão 1.2 do MB, aberto

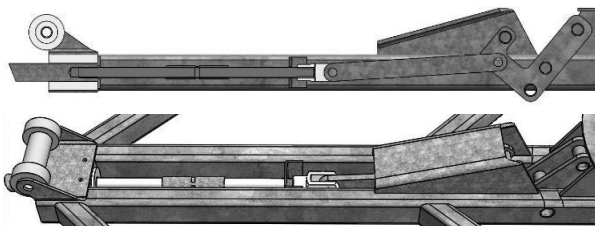


Figura 2.10 - Versão 1.2 do MB, fechado

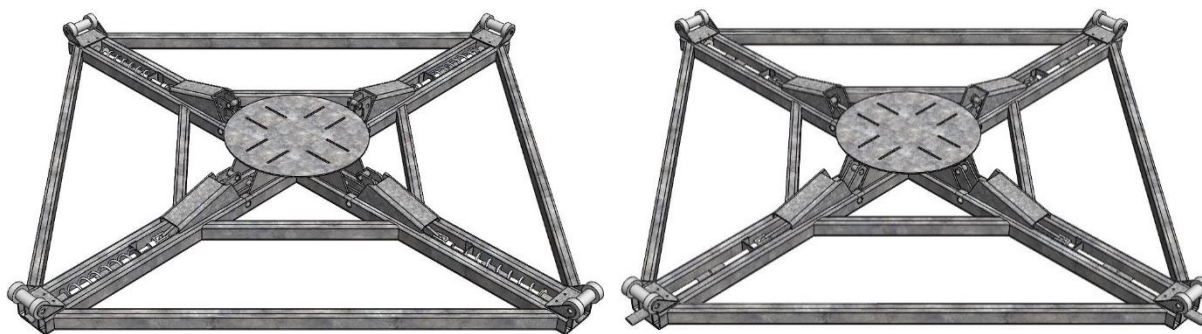


Figura 2.11 - Versão 1.2 do MB com a plataforma de segurança correspondente. Livre e bloqueada, respetivamente

2.3.1.3. Versão 1.3 do MB

Esta versão sofreu inúmeras alterações em relação à versão inicial. No entanto, o princípio de funcionamento manteve-se intacto (figura 2.12).

Um dos maiores problemas da versão 1.2 residiu na enorme dificuldade de montar, afinar e realizar manutenção. Para resolver este problema surgiu esta versão, na qual o MB passou a trabalhar no interior de uma caixa designada de K7 (figuras 2.13 e 2.14). Esta alteração, para além de resolver os problemas referidos anteriormente, resolveu também o problema do guiamento dos componentes móveis e permitiu novas configurações do MB.



Figura 2.12 - Esboço da versão 1.3 do MB

Avaliando a figura 2.15 verifica-se a facilidade de montagem do MB na estrutura da plataforma de segurança. Todas as alterações e melhorias efetuadas são descritas no ponto 2.3.1.4.

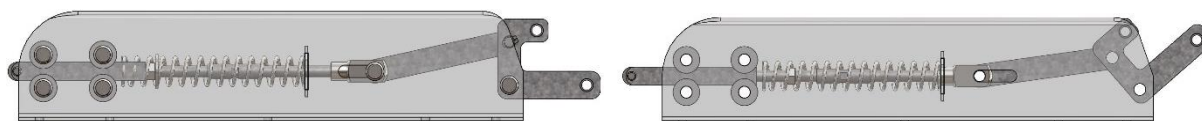


Figura 2.13 - Vista lateral com transparência da versão 1.3 do MB, aberto/fechado, respetivamente

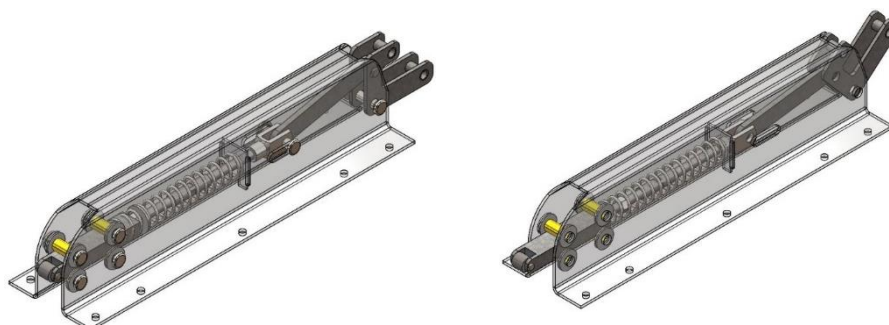


Figura 2.14 - Vista isométrica com transparência da versão 1.3 do MB, aberto/fechado, respetivamente

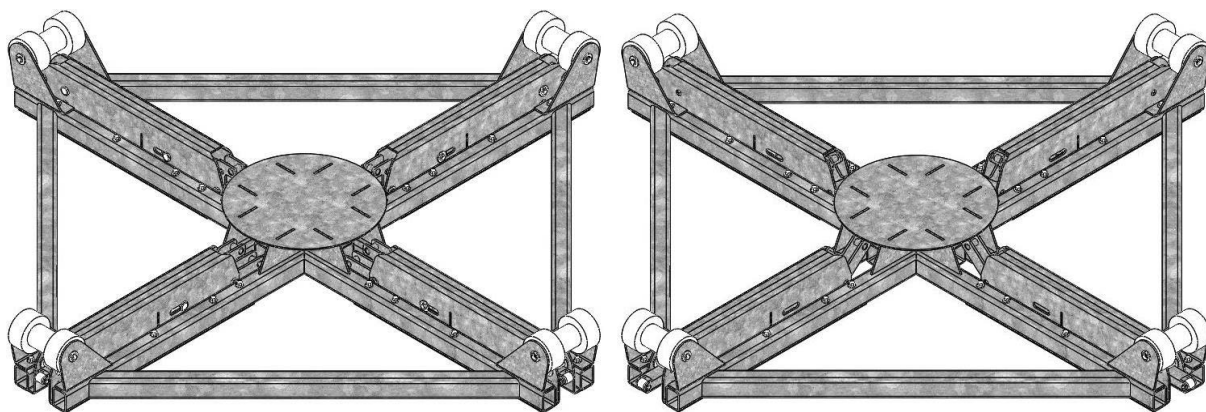


Figura 2.15 - Versão 1.3 do MB com a plataforma de segurança correspondente. Livre e bloqueada, respetivamente

2.3.1.4. Peças constituintes da 1ª versão do MB e melhorias efetuadas

I – Ferrolho e guia do ferrolho

O ferrolho e a guia do ferrolho são os componentes do MB que mais alterações sofreram. Realça-se também que, foram os componentes que mais problemas apresentaram.

No MB 1.1, a construção destes era composta por um bloco maciço de metal cortado a laser e retificado com um furo central onde aparafusa um varão roscado (figura 2.17) e, uma chapa de metal quinada com o formato presente na figura 2.18.

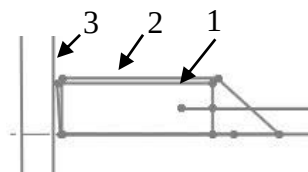


Figura 2.16 - Esboço do ferrolho.
(1) – Ferrolho; (2) – Guia do Ferrolho;
(3) – Calha



Figura 2.17 - Ferrolho

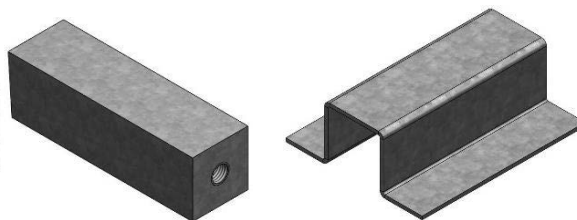


Figura 2.18 - Caixa guia do ferrolho

Esta construção (figura 2.16) apresentou imensos problemas, um dos maiores deveu-se ao tipo de funcionamento destes componentes. Entre o ferrolho e a caixa guia do ferrolho existe movimento, o que gera atrito e desgaste, para além disso, como ambos os componentes são de metal, e trabalham num local húmido com presença de lixiviados, existe uma forte possibilidade de oxidarem, bloqueando o movimento, o que leva à falha do MB, e, consequentemente, da plataforma de segurança.

Entre o ferrolho e a calha, também existe contacto e movimento, apresentando este o mesmo problema que o anteriormente descrito.

O ferrolho apresenta uma inclinação de 5° na face que está em contacto com a calha. Esta serve para reduzir a superfície de contacto entre o ferrolho e a calha, facilitando também a saída do ferrolho da caixa da calha.

A ligação da caixa guia do ferrolho à plataforma de segurança, nesta configuração, é feita por intermédio de parafusos ou soldadura.

Na versão 1.2 do MB (figura 2.19), a caixa guia do ferrolho passou a ser constituída por um bloco em POM, maquinado, com um furo passante central e com dois furos roscados na parte superior da mesma, reduzindo assim o atrito e desgaste entre componentes e eliminando qualquer possibilidade de falha (figura 2.21).

O ferrolho passou a ser constituído por um varão metálico, com um furo centrado e roscado numa das faces, e com a outra face cortada com um ângulo de 20°. A geometria do ferrolho, apresentada na figura 2.20, traz alguns benefícios ao movimento do MB. O corte da face com um ângulo de 20° ajuda a finalizar o movimento de acoplamento do gancho no varão calandrado, pois na fase final do acoplamento vai haver um escorregamento entre o ferrolho e a caixa da calha, obrigando o gancho a acoplar mais depressa e com menos esforço.

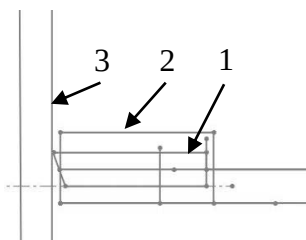


Figura 2.19 - Esboço do ferrolho. (1) – Ferrolho; (2) – Caixa do Ferrolho; (3) – Calha

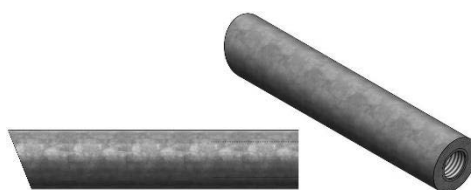


Figura 2.20 - Ferrolho

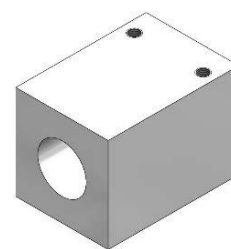


Figura 2.21 - Caixa guia do ferrolho do ferrolho

Os dois furos visíveis na caixa em POM (figura 2.21) são dois posicionadores, cuja função é, por um lado, assegurar a ligação da caixa à estrutura da plataforma e por outro, impedir que esta se mova com o uso repetido.

O problema do atrito e desgaste do ferrolho com a calha não foi resolvido nesta versão, chegando-se a conclusão que para eliminar esse efeito seria necessário acrescentar um rolete na extremidade do ferrolho que tem contacto com a calha. Essa alteração só foi efetuada na versão 1.3 do MB.

Para suprir a necessidade de reduzir o atrito entre o ferrolho e a calha, na versão 1.3 do MB (figura 2.22), o ferrolho passou a ser uma montagem de vários elementos (figura 2.23), nomeadamente uma placa de aço com 20 mm de espessura cortada a laser, e posteriormente maquinada e retificada; um rolete em POM; uma cavilha e um freio. O guiamento deste ferrolho é feito por tubos de bronze (que trabalham como roletes para diminuir o atrito) e por anilhas em POM (figura 2.24). No interior dos tubos passam cavilhas, ligando os tubos à K7 (figura 2.25).

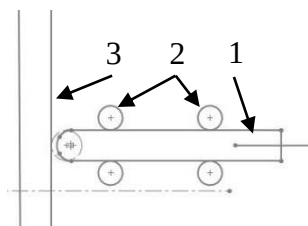


Figura 2.22 - Esboço do ferrolho. (1) – Ferrolho; (2) – Guia do Ferrolho; (3) – Calha

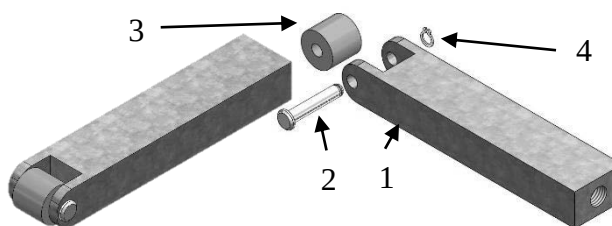


Figura 2.23 - Elementos constituintes do ferrolho. (1) – Chapa de aço; (2) – Cavilha; (3) – Rolete em POM; (4) – Freio

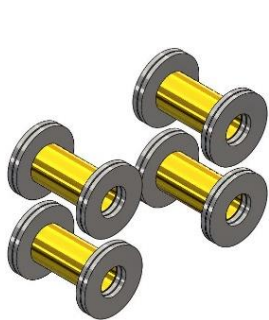


Figura 2.24 - Elementos responsáveis por guiar o ferrolho

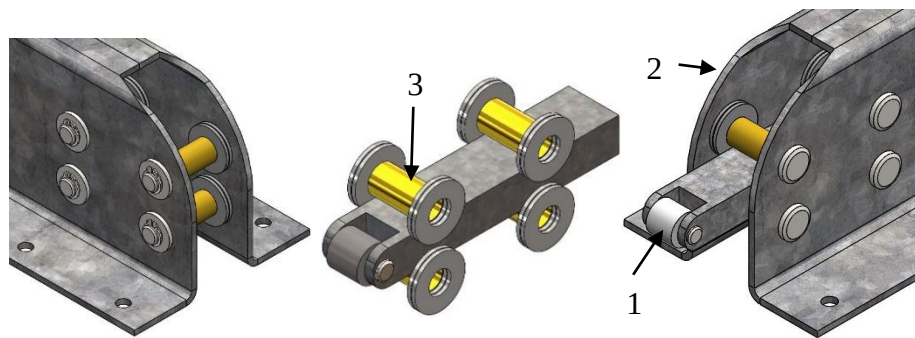


Figura 2.25 - (1) – Ferrolho; (2) – K7; (3) – Guia do ferrolho

II – Transmissão de movimento

Os elementos que conduzem o movimento do gancho ao ferrolho sofreram algumas alterações. O principal motivo dessas alterações foi a necessidade de reduzir custos com coisas dispensáveis e tornar o mecanismo facilmente afinável.

A transmissão do movimento na versão 1.1 (figura 2.26) era composta por duas forquilha normais (figura 2.27), uma forquilha de ataque (figura 2.28), dois varões roscados (figura 2.31) e um posicionador para a mola, com geometria e função não totalmente pensadas numa primeira fase. A mola faria força entre o posicionador que se encontra no meio do varão roscado e um suporte da plataforma. A ligação entre as forquilhas e outros componentes seria feita com cavilhas freadas.

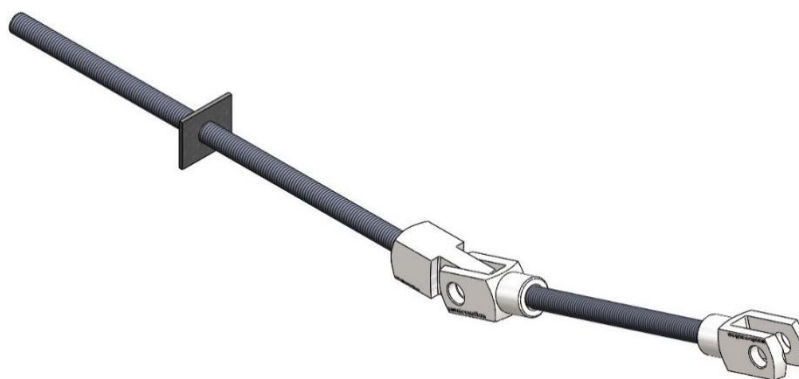


Figura 2.26 - Transmissão de movimento da versão 1.1 do MB

Na versão 1.2 foram alterados alguns elementos de forma a reduzir custos, foi também introduzido um elemento que permite a afinação do ferrolho. A transmissão de movimento da versão 1.2 do MB é igual à da versão 1.3 (figura 2.32) e é constituída por:

- Dois varões roscados – Um com rosca esquerda e outro com rosca direita;
- Uma peça de afinação (figura 2.29) – Metade da rosca interior esquerda e a outra metade com rosca direita, permitindo assim a afinação do ferrolho;
- Uma forquilha;
- Um elo de ligação (figura 2.30);
- Uma anilha – Que serve de base para a mola;
- Uma porca – Que faz o bloqueio da anilha e permite o ajuste da mola.

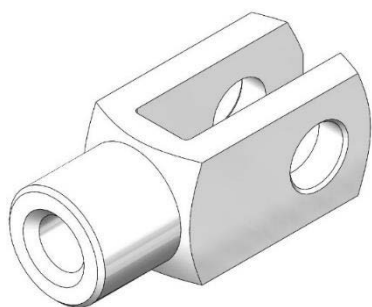


Figura 2.27 - Forquilha

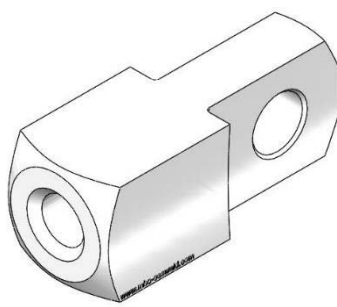


Figura 2.28 - Forquilha de ataque



Figura 2.29 - Afinador



Figura 2.30 - Elo de ligação



Figura 2.31 - Varão roscado

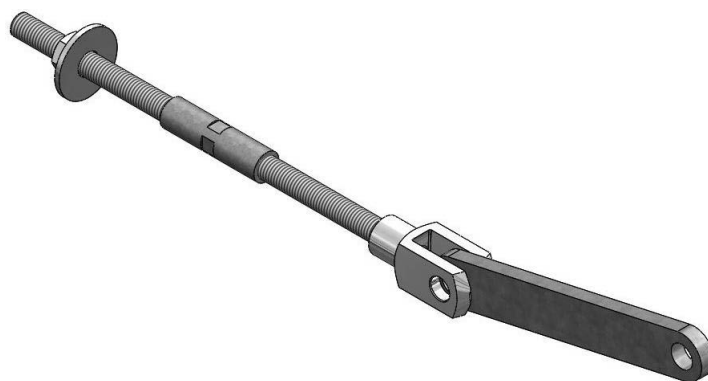


Figura 2.32 - Transmissão da versão 1.3 do MB

III – Gancho

O gancho é o ponto-chave do MB, comanda tanto a abertura como o fecho, e qualquer falha de atuação do gancho leva a falhas no MB. Para evitar falhas, este elemento foi amplamente estudado, acabando por sofrer bastantes alterações de desenho durante o seu desenvolvimento.

A função do gancho é comandar a velocidade de atuação do ferrolho, bem como a amplitude de movimento. Na figura 2.33, a seta a vermelho representa o ponto de ligação da transmissão. A alteração da localização deste ponto provoca um acionamento mais rápido ou mais lento do ferrolho, e quanto mais em baixo estiver mais lento será o acionamento e menor a amplitude de movimento.

Sinalizado com uma seta a azul está o eixo de rotação do gancho. Nas duas primeiras versões, o eixo do gancho estava situado verticalmente, relativamente, à trajetória prevista do varão calandrado. A força da massa do contentor metálico e do sistema de extração é transferida

Mestrado em Engenharia Mecânica

para o varão calandrado, e é essa força que durante o acoplamento obriga o gancho a rodar sobre o seu eixo, acionando o MB. Nas versões 1.1 e 1.2, devido ao eixo do gancho estar situado verticalmente, relativamente, à trajetória prevista do varão calandrado, poderá haver uma zona de estagnação do movimento de acoplamento. Esta estagnação ocorre devido à força necessária para rodar o gancho, ser transferida para o eixo do gancho, não conseguindo assim finalizar o movimento de acoplamento, bloqueando o mecanismo. Para eliminar este efeito, o eixo do gancho foi alterado para a posição que se encontra na versão 1.3.

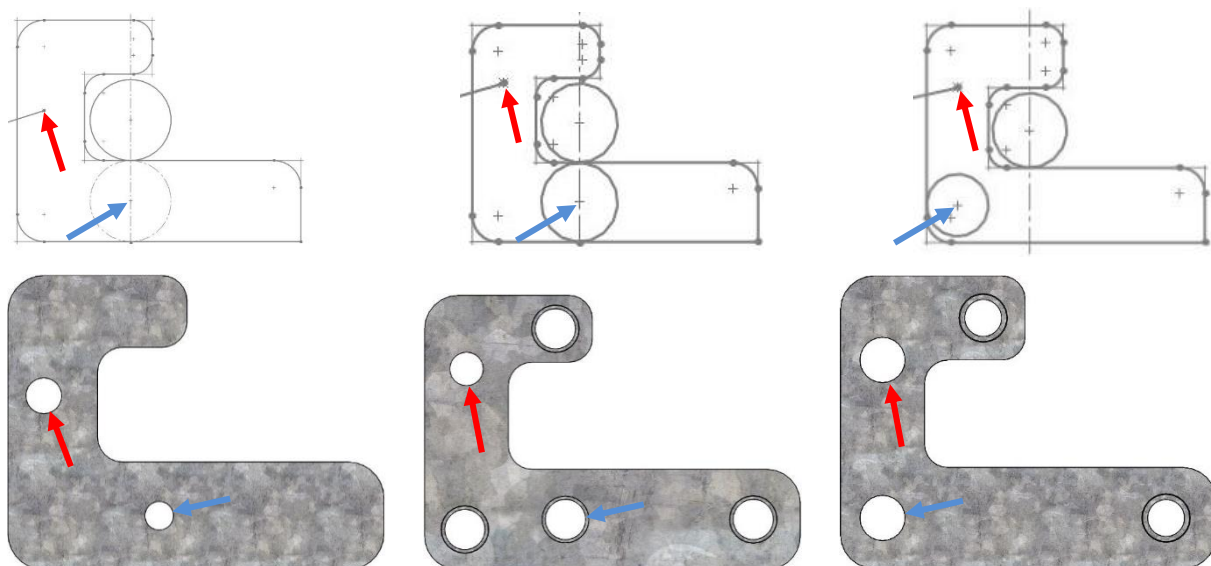


Figura 2.33 - À esquerda encontra-se em esboço e modelado o gancho da versão 1.1, ao centro o da versão 1.2 e há direita o da versão 1.3

O gancho da versão 1.1 é constituído por uma chapa cortada a laser (figura 2.34), na versão 1.2 é constituído pela montagem de duas chapas cortadas a laser e posteriormente soldadas a quatro tubos (figura 2.35), por último na versão 1.3 é constituído pela montagem de duas chapas cortadas a laser e posteriormente soldadas a dois tubos (figura 2.36).



Figura 2.34 - Gancho da versão 1.1 do MB

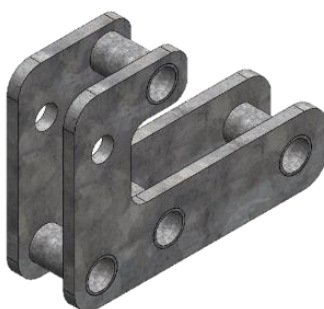


Figura 2.35 - Gancho da versão 1.2 do MB

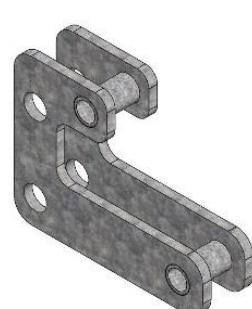


Figura 2.36 - Gancho da versão 1.3 do MB

IV – Ligação dos elementos móveis à plataforma

Na versão 1.1, a ligação dos elementos móveis à estrutura da plataforma de segurança (figura 2.37), não foi muito bem pensada, acabou por não ser dada muita importância a esta ligação. Procurou-se apenas fazer a modelação com intuito de avaliar os vários problemas da interação do MB com a estrutura da plataforma.

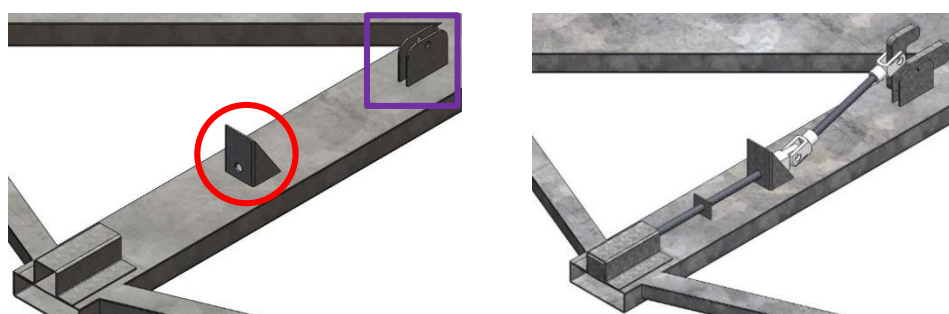


Figura 2.37 - Fixações das peças móveis na versão 1.1 do MB. Círculo vermelho – ligação da mola à plataforma; Quadrado roxo – ligação do gancho à plataforma

A ligação da mola à plataforma (figura 2.38) é um dos grandes problemas desta versão, pois este elemento também faz o guiamento do movimento da transmissão, o que gera um enorme atrito no mecanismo, devido à passagem justa do varão roscado no interior do furo deste elemento, podendo mesmo levar ao bloqueio do MB.

A ligação da caixa guia do ferrolho à plataforma, tal como referido anteriormente, nesta versão é feita por intermédio de parafusos ou soldadura, o gancho é ligado à plataforma na chapa representada na figura 2.39 por meio de uma cavilha que serve de eixo do mesmo.

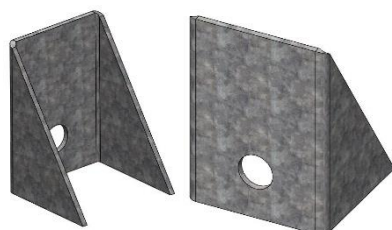


Figura 2.38 - Ligação da mola à plataforma da versão 1.1 do MB



Figura 2.39 - Chapa da ligação do gancho à plataforma

Na versão 1.2 a problemática da ligação dos elementos móveis à plataforma também não foi muito bem pensada, não ficando resolvidos os problemas de guiamento dos elementos moveis do MB. Tal como na versão anterior, a peça que faz a ligação da mola à plataforma é também responsável pelo guiamento do varão que aciona o ferrolho. Neste sentido, apresenta portanto, os mesmos problemas que os descritos na versão 1.1. A peça referida (figura 2.41) encontra-se assinalada com um círculo a vermelho na figura 2.40.



Figura 2.40 - Fixações das partes móveis da versão 1.2 do MB. Círculo vermelho – ligação da mola à plataforma

O eixo do gancho nesta versão passa a estrutura tubular, como representado na figura 2.42. A caixa guia do ferrolho é aparafusada à estrutura nos furos representados na figura 2.43.

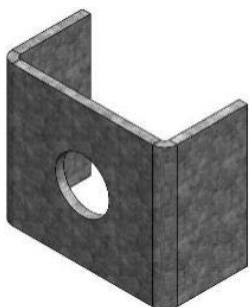


Figura 2.41 - Ligação da mola à plataforma da versão 1.2

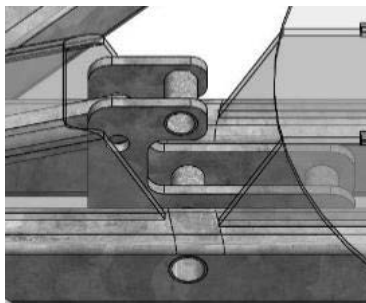


Figura 2.42 - Furos para localizar o eixo do gancho

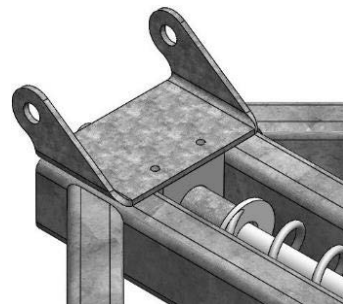


Figura 2.43 - Fixadores da caixa guia do ferrolho

Na versão 1.3, todos os problemas mencionados anteriormente foram resolvidos, quando a estrutura da plataforma foi alterada e o MB passou a trabalhar pelo princípio de peça única (K7). A estrutura da K7 é composta por três chapas cortada a laser, em que duas delas são quinadas de forma simétrica. Todas as chapas são soldadas entre si (figura 2.44).

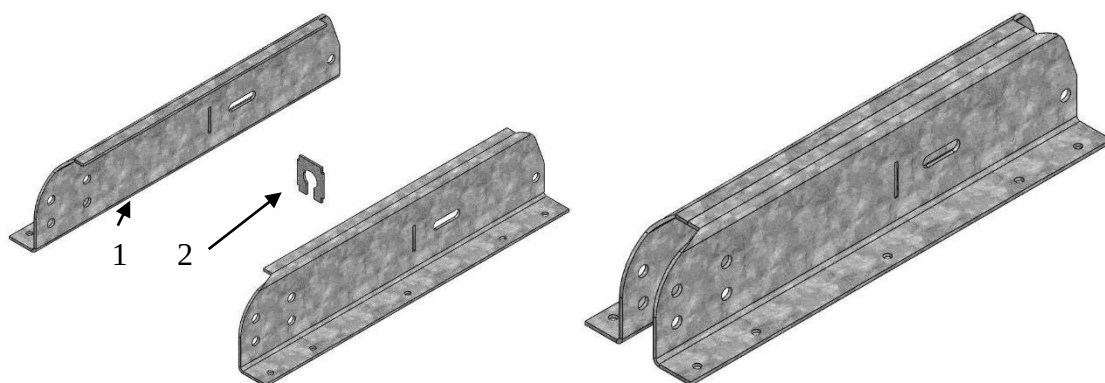


Figura 2.44 - Estrutura da K7. (1) – Chapa quinada da K7; (2) – Ligação da mola à plataforma de segurança

Nesta versão, a peça responsável por ligar a mola à plataforma de segurança (figura 2.45), deixou de ter também a função de guiar os componentes móveis, tornando-se assim, a maior e mais importante inovação desta versão. O guiamento dos componentes móveis passou a ser feito por um *slot* (ranhura), que foi introduzido nas laterais da estrutura da K7. Uma cavilha (figura 2.46), liga os *slots* da estrutura da K7, aos elementos de transmissão de movimento, impedindo assim qualquer movimento não desejado (figura 2.48). Foi também adicionado um corte nas laterais das K7s, que possibilita um fácil e correto posicionamento da ligação da mola à plataforma, facilitando também a execução da soldadura da mesma. Todos os eixos passaram assim a ser feitos por cavilhas bloqueadas por freios (figura 2.47), e, foram adicionadas anilhas em POM nos espaços vazios entre as laterais da K7 e o eixo do gancho, para que este elemento não abane nem altere a sua posição ótima de funcionamento.

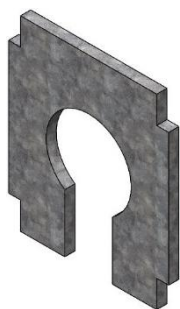


Figura 2.45 - Liga o da mola a plataforma de segurança

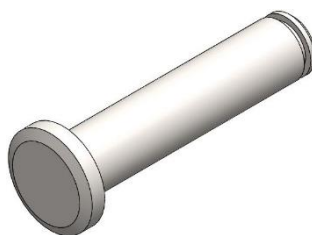


Figura 2.46 - Cavilha



Figura 2.47 - Freio

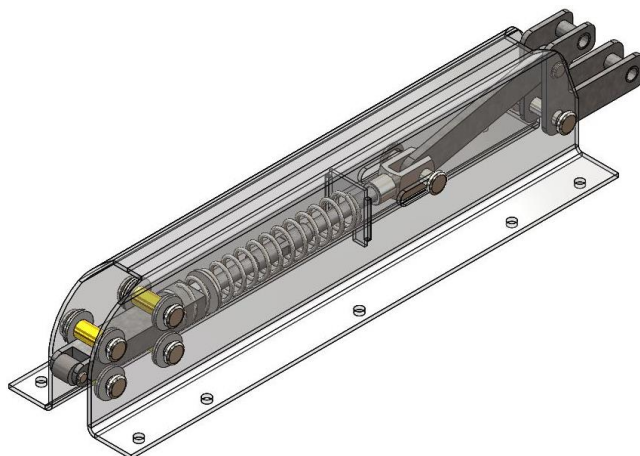


Figura 2.48 - K7

V – Dimensionamento da mola   compressão

Um dos elementos mais importantes do MB é a mola, está tem de ter capacidade de vencer a força de atrito gerada entre o gancho e o varão calandrado do contentor metálico. A mola foi calculada para o pior cenário possível que é, o início do movimento (figura 2.49).

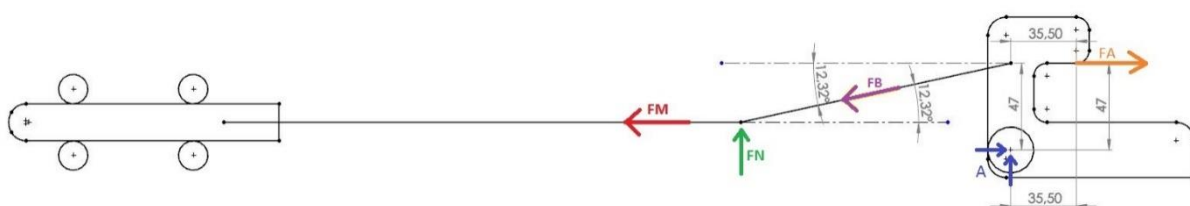


Figura 2.49 - Forças que atuam no desacoplamento da plataforma de segurança com o varão calandrado na versão 1.3 do MB

Na figura 2.49 estão representadas as várias forças que atuam no mecanismo. Para se obter a força da mola   necessário dividir-se o sistema em duas partes separadas pela força FB. No primeiro cálculo acham-se as forças envolvidas no gancho, para que processe o desacoplamento do gancho com o varão calandrado (figura 2.50).

FA é uma força de atrito gerada pelo contacto do gancho com o varão calandrado, FB é a força de equilíbrio do sistema que será aplicada pela mola e A representa o eixo de rotação do gancho. Cada vetor representa a direção e o sentido considerado para cada força.

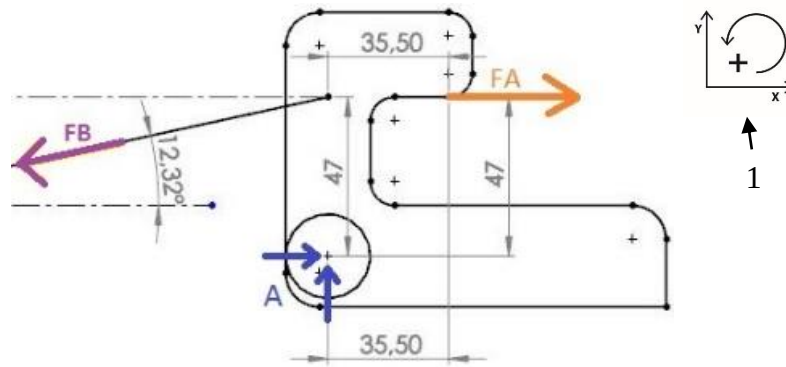


Figura 2.50 - Esquema do 1º cálculo. As setas (roxa, azul e laranja) representam a direção e os sentidos das forças envolvidas. (1) - Representação dos sentidos positivos considerados

As forças de atrito seguem a seguinte expressão matemática:

$$F_A = N * \mu \quad (1)$$

em que F_A é a força de atrito, N a força normal à superfície, e μ o coeficiente de atrito.

Não se tendo encontrado qualquer fonte que refira qual o coeficiente de atrito para o contacto entre duas superfícies de aços DIN Steel 1.0044 (S275JR) foi considerado um coeficiente de atrito de 0,7, que representa um valor genérico para o contacto aço-aço (Sullivan, 1988).

A grandeza da força normal à superfície segue a seguinte expressão matemática:

$$N = P * g \quad (2)$$

em que P é a massa da plataforma de segurança e g a aceleração da gravidade ($9,81 \text{ m/s}^2$). Substituindo os valores da expressão (2) na (1) ficamos com:

$$F_A = \mu * P * g$$

No dimensionamento das molas do MB foi considerado que a massa da plataforma de segurança é de 200 kg .

$$F_A = 0,7 * 200 * 9,81$$

$$F_A = 1373,4 \text{ N}$$

Como numa plataforma existem 4 MB a força FA é:

$$FA = \frac{F_A}{4} = 343,35 \text{ N}$$

Achada a força FA já é possível calcular as forças envolvidas na figura 2.50.

1º Cálculo

$$\begin{cases} \Sigma F_x = 0 \\ \Sigma F_y = 0 \\ \Sigma M_A = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} FA + Ax - FB * \cos(12,32) = 0 \\ -FB * \sin(12,32) + Ay = 0 \\ -FA * 47 + FB * \cos(12,32) * 47 = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} 343,35 + Ax - FB * \cos(12,32) = 0 \\ -FB * \sin(12,32) + Ay = 0 \\ -343,35 * 47 + FB * \cos(12,32) * 47 = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} Ax = 0 \text{ N} \\ Ay = 74,988 \text{ N} \\ FB = 351,443 \text{ N} \end{cases}$$

Calculado o valor da força FB pode-se realizar o 2º cálculo e achar a força FM (figura 2.51).



Figura 2.51 - Esquema do 2º cálculo. As setas (vermelha, verde e roxa) representam a direção e os sentidos das forças envolvidas

2º Cálculo

$$\begin{cases} \Sigma F_x = 0 \\ \Sigma F_y = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} -FB * \cos(12,32) - FM = 0 \\ -FB * \sin(12,32) + FN = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} FM = -343,35 \text{ N} \\ FN = 74,99 \text{ N} \end{cases}$$

A força da mola FM tem de ser superior a 343.35 N.

Características gerais da mola

O dimensionamento das molas é realizado com a força mínima necessária da mola em kgf .

$$FM = 343,35/9,81 = 35 \text{ kgf}$$

A mola é calculada para trabalhar com a dimensão máxima atuada $L0$ e a dimensão em repouso L .

$$L0 = 150 \text{ mm}$$

$$L = 200 \text{ mm}$$

Esta mola foi dimensionada tendo em consideração que iria ser produzida pela empresa Fanamol. As características do aço que esta empresa usa são:

$$Aço = DIN 17223$$

$$E = 190 \text{ GPa}$$

$$\tau_{ced} = 760 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{rot} = 980 \text{ MPa}$$

$$\nu = 0,28$$

Considerou-se um índice da mola (C) igual 8.

Cálculo do diâmetro do arame

Para calcular o diâmetro do arame são necessárias várias expressões matemáticas como:

A expressão do fator de correção do esforço cortante (K_B):

$$K_B = \frac{4C+2}{4C-3} \quad (3)$$

A expressão que relaciona o índice da mola (C) com o diâmetro medio do enrolamento (D) e o diâmetro do arame (d):

$$C = \frac{D}{d} \quad (4)$$

A expressão da tensão de corte máxima no arame da mola (τ_{max}):

$$\tau_{max} = \frac{K_S * 8 * P * D}{\pi * d^3} \quad (5)$$

em que P é a força aplicada na mola, neste caso, toma o valor da força FM .

Relacionando as expressões matemáticas (5) e (6) obtemos:

$$\tau_{max} = \frac{K_S * 8 * P * C}{\pi * d^2}$$

A expressão da tensão de corte admissível (τ_{adm}):

$$\tau_{adm} = \tau_{ced} / N \quad (6)$$

sendo τ_{ced} a tensão de corte de cedência, e N o coeficiente de segurança. Neste caso para o coeficiente de segurança admitiu-se um valor de 1,5.

Substituindo os valores na equação seguinte, temos:

$$\tau_{max} = \frac{\frac{4C+2}{4C-3} * 8 * 35 * 8}{\pi * d^2}$$

$$\tau_{max} = \frac{2380}{\pi * d^2}$$

Igualando τ_{max} à τ_{adm} ficamos com:

$$\frac{760/9,81}{1,5} = \frac{2380}{\pi * d^2}$$

$$d = 3,8 \approx 4 \text{ mm}$$

O diâmetro do arame foi fixado em 4 mm. Substituindo na equação (5), o diâmetro medio do enrolamento será:

$$D = 8 * 4 = 30 \text{ mm}$$

Cálculo do número de espiras

Para calcular o número de espiras é necessário saber o alongamento da mola (δ):

$$\delta = L - L_0 \quad (7)$$

$$\delta = 200 - 150$$

$$\delta = 50 \text{ mm}$$

O alongamento da mola (δ) pode ser definido através da expressão:

$$\delta = \frac{8 * P * D^3 * n}{G * d^4} \quad (8)$$

em que n é o número de espiras e G o módulo de elasticidade transversal.

O módulo de elasticidade transversal obtém-se pela expressão:

$$G = \frac{E}{2 * (1 + \nu)} \quad (9)$$

em que E é o módulo de Young e ν o coeficiente de Poisson. Substituindo os valores fica:

$$G = \frac{190000}{2 * (1 + 0,28)}$$

$$G = 74218,8 \text{ MPa}$$

$$G = 7565,62 \text{ kg/mm}^2$$

Igualando a expressão (11) à (12) fica:

$$50 = \frac{8 * 35 * 30^3 * n}{7565,62 * 4^4}$$

$$n = 12,8 \approx 13$$

Considerou-se um valor de 13 espiras. Assim, é necessário corrigir o valor do alongamento da mola.

$$\delta = \frac{8 \cdot 35 \cdot 30^3 \cdot 13}{7565,62 \cdot 4^4} = 50,7 \text{ mm}$$

$$L_f = L_0 + \delta$$

sendo L_f a dimensão final da mola em repouso.

$$L_f = 150 + 50,74 = 200,74 \text{ mm}$$

Mola com extremidades cortadas em esquadria e afagadas a mó.

Para este tipo de mola é necessário ajustar o número de espiras obtido atrás, o número final n_1 resulta da adição de duas espiras inativas.

$$n_1 = n + 2$$

$$n_1 = 13 + 2 = 15$$

Para este tipo de mola o comprimento da final segue a expressão:

$$L_f = p \cdot n + 2 \cdot d \quad (10)$$

onde p representa o passo da mola. Substituindo fica:

$$200,74 = p \cdot 13 + 2 \cdot 4$$

$$p = 14,83 \text{ mm}$$

As características finais da mola, bem como o seu aspeto podem ser vistos na tabela 3 e figura 2.52, respetivamente.

Tabela 3 - Características da mola a enviar para produção.

Mola com extremidades cortadas em esquadria e afagadas à mó	
Nº de espiras	13 + 2
L	200,74 mm
L_0	150 mm
Passo	14,83 mm
Diâmetro medio do enrolamento	30 mm
Diâmetro do arame	4 mm

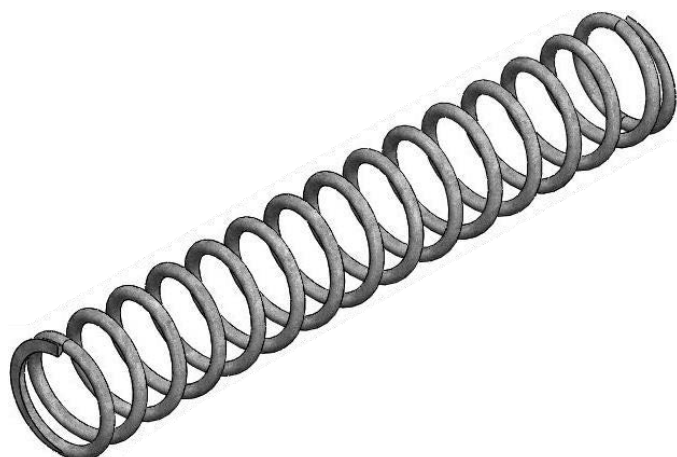


Figura 2.52 - Mola da versão 1.3 do MB

2.3.2. 2ª Versão do mecanismo de bloqueio

O sistema de K7 possibilitou a oportunidade de explorar novos tipos de MB, na altura procurou-se uma alternativa que possibilitasse um fácil acoplamento da plataforma ao contentor. Surgiu então esta versão (figura 2.53), que acabou por ser abandonada pois não oferecia segurança ao sistema.

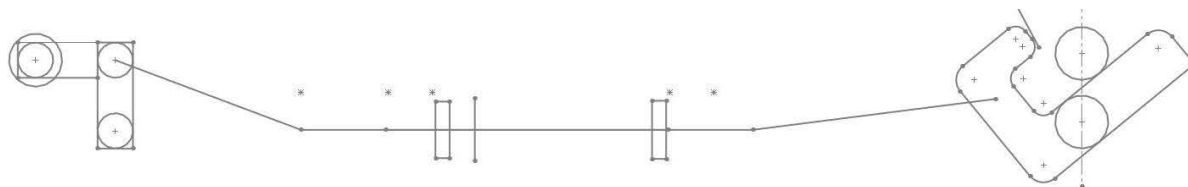


Figura 2.53 - Alternativa abandonada 1

O princípio de funcionamento deste sistema é parecido com o da 1ª versão, mas não existe ferrolho, é um balancete que faz o seu efeito. Esta versão tem um enorme problema de falta de fiabilidade, devido a todo o funcionamento e segurança depender da força da mola.

Quando uma força superior as forças combinadas das molas for exercida na plataforma, estes balancetes rebatem e deixam que a plataforma caia para o fundo da cuba. A força que leva à falência deste sistema pode ser exercida por pessoas a passar em cima da plataforma ou devido ao encaixe do contentor metálico. Devido a estes factos a alternativa foi abandonada.

2.3.3. 3ª Versão do mecanismo de bloqueio

Este MB foi baseado no sistema de abertura rápida das portas de emergência. Esta alternativa foi bastante estudada e abandonada pois na parte final do acoplamento do contentor na plataforma surgia uma fase que possibilitava o desbloqueio total do MB sem que a plataforma estivesse bem acoplada no varão calandrado, possibilitando a falha do sistema.

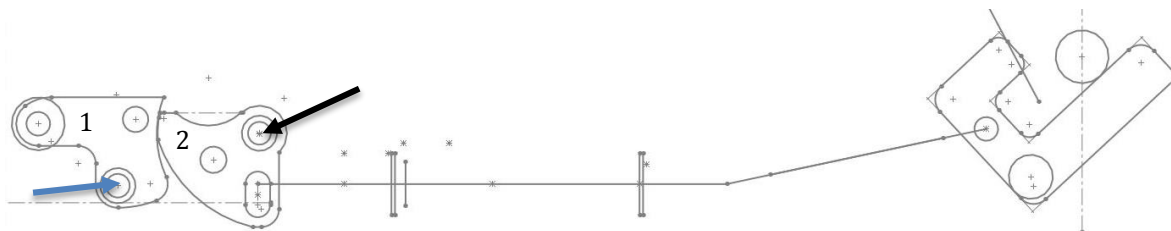


Figura 2.54 - 3ª Versão do MB desacoplado do contentor metálico. Seta preta – Eixo da peça 2; Seta azul – Eixo da peça 1

O esboço da figura 2.54 representa o MB quando a plataforma se encontra na posição de segurança. O contentor metálico, ao engrenar no gancho, obriga a que este rode no seu eixo, movendo, por sua vez os elementos que fazem ligação do gancho à peça 2. A peça 2 roda sobre o eixo assinalado a preto, desbloqueando progressivamente o movimento da peça 1. A peça 1, por sua vez, roda em torno do eixo assinalado a azul e não tem qualquer peça acoplada a si, movendo-se portanto devido á força vertical exercida pelo contentor. A peça 1 tem apenas ligada a si uma mola, que obriga a que esta esteja em contacto permanente com a calha, e que à primeira oportunidade entre para o interior da caixa existente na calha.

Na figura 2.55 está representado o mecanismo na posição intermédia de funcionamento, isto é, quando o mecanismo solta o contentor e quando ocorre o acoplamento de ambos.

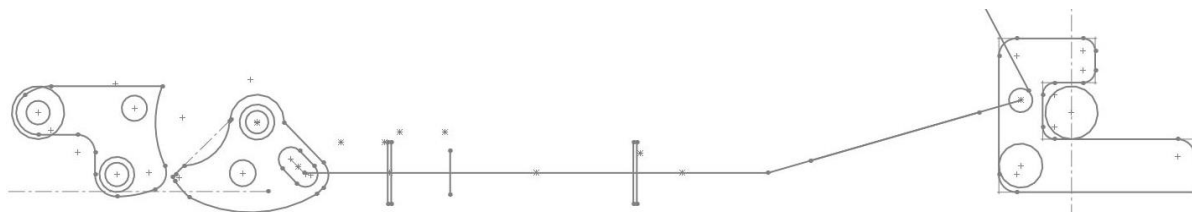


Figura 2.55 - 3ª Versão do MB na fase de transição de acoplado para desacoplado, com o contentor metálico

Representado em esquema na figura 2.56 está a configuração do MB quando a plataforma de segurança se encontra no fundo da cuba.

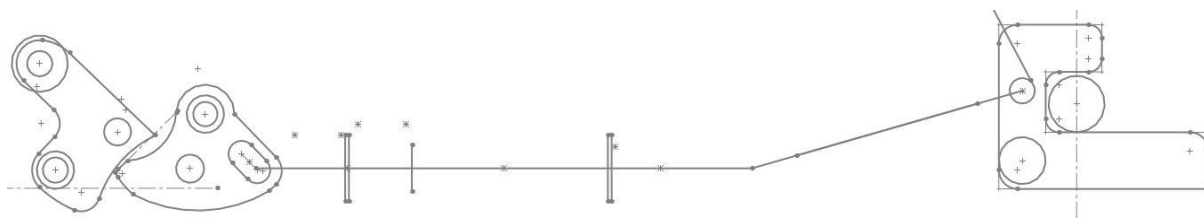


Figura 2.56 - 3ª Versão do MB acoplado ao contentor metálico

2.3.4. 4ª Versão do mecanismo de bloqueio

Este mecanismo surgiu devido às falhas detetadas na versão anterior, aquando a descoberta da vulnerabilidade da 3ª versão do MB. Sendo portanto bastante parecida com a anterior, tanto a nível de aspeto como de funcionamento.



Figura 2.57 - 4ª Versão do MB acoplado ao contentor metálico



Figura 2.58 - 4ª Versão do MB na fase de transição de acoplado para desacoplado, com o contentor metálico

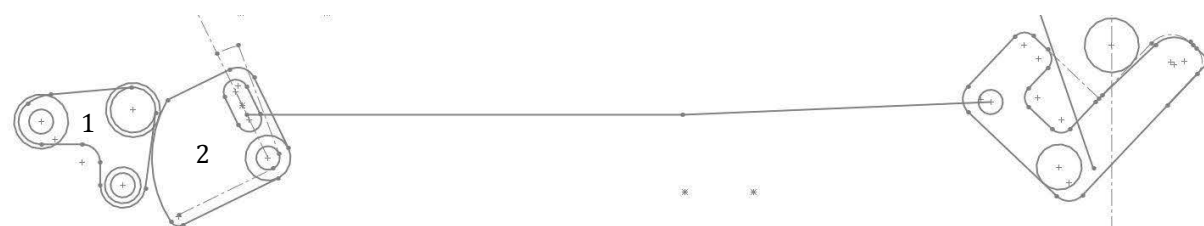


Figura 2.59 - 4ª Versão do MB desacoplado do contentor metálico

Durante todo o tempo em que o contentor está acoplado à plataforma, o MB tem a configuração representada na figura 2.57, durante a subida do contentor metálico a plataforma desloca-se solidariamente com o contentor, sendo guiada pelas calhas metálicas. No topo de cada calha, na posição desejada, há uma caixa aberta, na qual entra a peça 1. Esta peça está constantemente a ser pressionada contra a calha por uma mola, que à mínima oportunidade obriga a peça 1 a entrar para o interior da caixa da calha.

A figura 2.58 é referente à transição da peça 1 para o interior da caixa da calha, antes da mola à compressão atuar. A mola à compressão é colocada entre a peça 2 e o gancho no mesmo sítio que as dos modelos anteriores. Finalizado o movimento representado na figura 2.58, inicia-se o movimento de desacoplamento. Depois de concluído este movimento, o MB apresenta a configuração da figura 2.59.

Quando a peça 1 entra no interior da caixa da calha, a mola principal atua, desacoplando o gancho do varão calandrado. Devido à geometria da peça 2, a peça 1 fica bloqueada, ficando a plataforma em segurança. Quando acopla o contentor na plataforma dá-se o movimento contrário, ou seja, da figura 2.59 para a figura 2.57. Assim, ao engrenar o contentor na plataforma, vence-se a força exercida pela mola obrigando a peça 2 a movimentar-se para a posição que se encontra na figura 2.58. Deste modo, ao ficar livre o caminho, a peça 1 também irá para a posição inicial, voltando o sistema à configuração representada na figura 2.57.

Na figura 2.60 encontra-se modelado o MB nas três posições e na figura 2.61 encontra-se a plataforma de segurança com este MB.

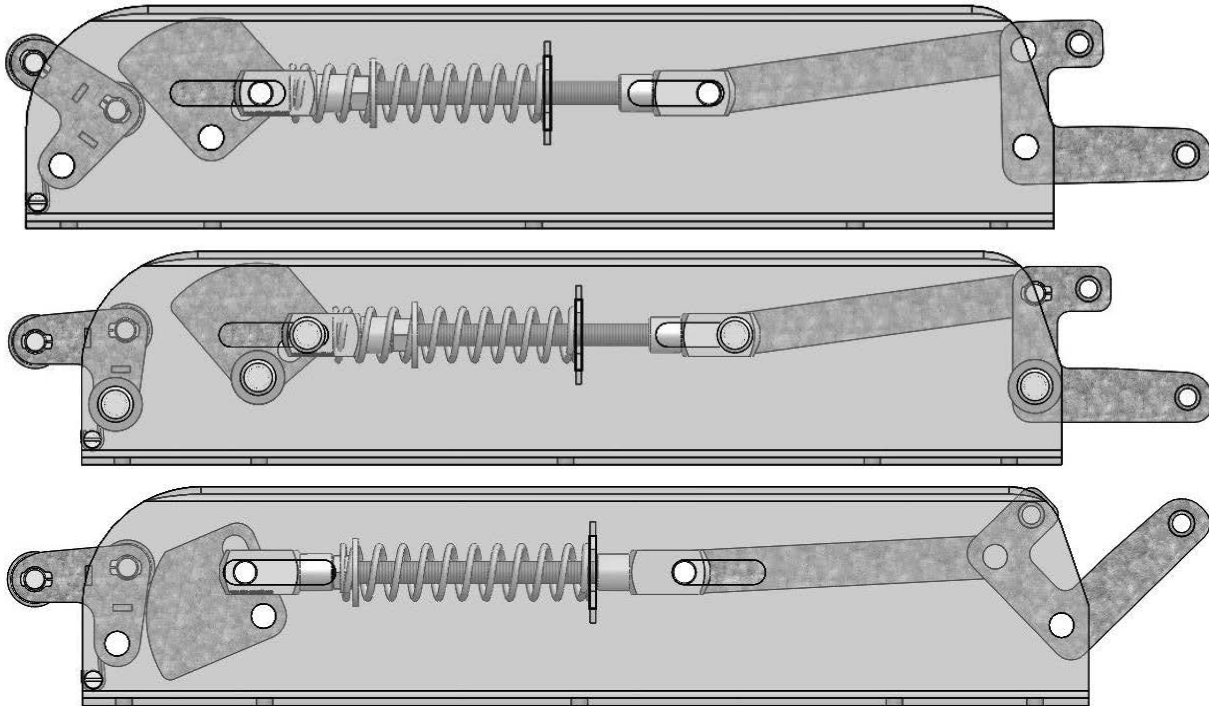


Figura 2.60 - Três posições da versão 4 do MB. A posição do MB para quando a plataforma de segurança está livre, em regime transitório e bloqueada na posição de segurança, respetivamente

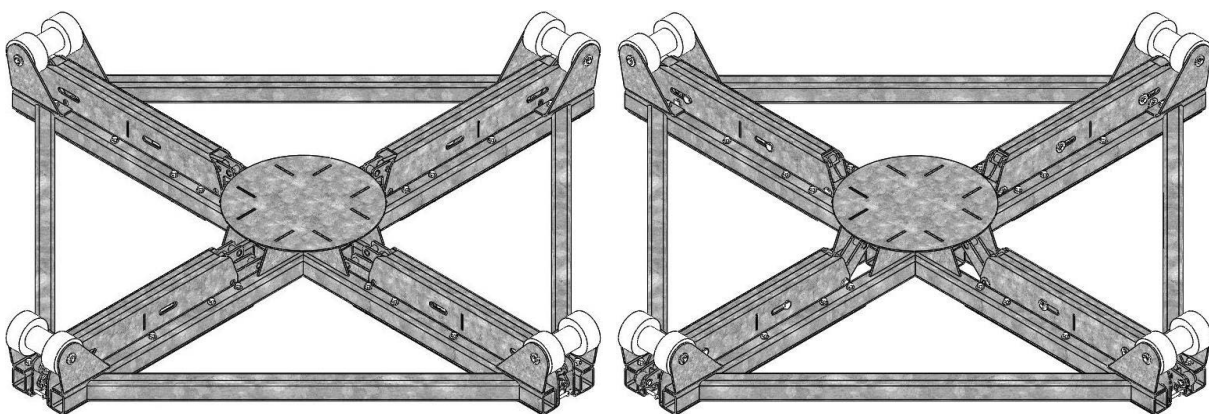


Figura 2.61 - Plataforma de segurança atual com a 4ª versão do MB, aberto/fechado, respetivamente

2.3.4.1. Peças constituintes da 4ª versão do MB

I – Peça 1/balancete

Esta peça tem uma dupla função, suporta a plataforma de segurança suspensa nas calhas, quando o contentor de RSU é retirado da cuba de betão e bloqueia o gancho, garantindo que durante o movimento de descida e subida o contentor e o gancho estão acoplados. Os esforços e solicitações que forem aplicados à plataforma, na posição de segurança, são transmitidos por este componente para a calha.

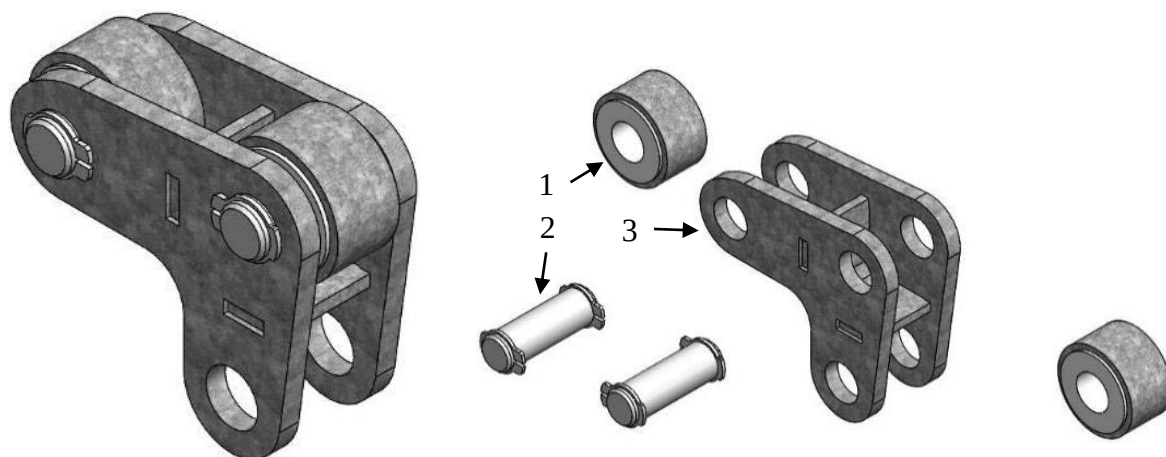


Figura 2.62 - Peça 1/balancete. (1) – Roldana; (2) – Eixo de articulação; (3) – Parte estrutural

O balancete (figura 2.62) é constituído pela montagem de vários componentes, as partes estruturais do balancete (figura 2.63), duas roldanas (figura 2.64) e dois eixos de articulação. As partes estruturais são compostas por três chapas cortadas a laser. Duas delas têm a mesma geometria e a terceira tem uma geometria diferente sendo, menos espessa e quinada (figura 2.63). As roldanas são compostas por dois tipos de materiais. Estes conferem-lhe a possibilidade de trabalhar como um rolamento. A parte exterior de cada roldana é constituída por um tubo, que terá de ser temperado para aumentar a resistência mecânica e, a parte interior da roldana é composta uma peça em POM maquinado (figura 2.64). Os eixos de articulação foram retirados do *site* traceparts.

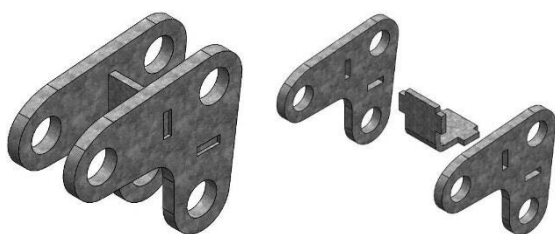


Figura 2.63 - Partes estruturais da peça 1/balancete

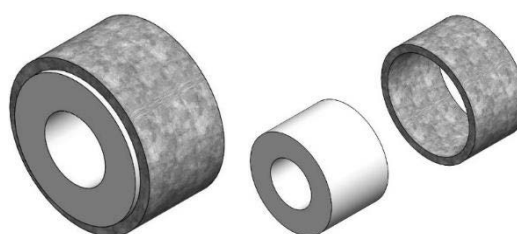


Figura 2.64 - Roldana

II – Peça 2/bloqueio do balancete

Este componente é responsável por manter o balancete bloqueado quando o contentor metálico não se encontra na cuba. Esta peça tem uma espessura de 10 *mm* para proporcionar mais área de contacto no rolete do balancete, distribuindo melhor as forças e minimizando os riscos de deformação. Este componente é formado por uma chapa de 10 *mm* cortada a laser e retificada nas partes que entram em contacto com o balancete, no furo, e no *slot* (figura 2.65).

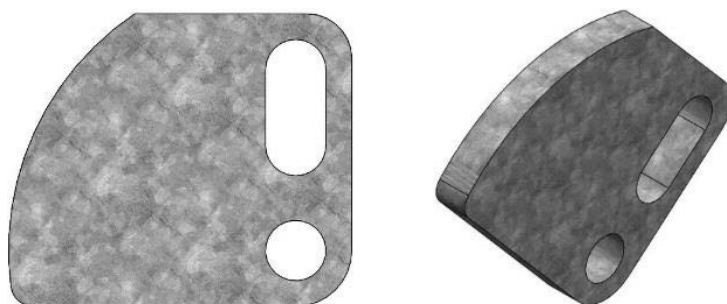


Figura 2.65 - Peça 2/bloqueio do balancete

III – Transmissão do movimento

A transmissão do movimento é efetuada da mesma forma do que na 1ª versão do MB. Comparando esta transmissão do movimento com a da versão 1.2 e 1.3 verifica-se que foi retirado um dos varões roscados e o afinador, e acrescentada uma forquilha. Todos os elementos desta transmissão de movimento são iguais aos utilizados anteriormente (figura 2.66).

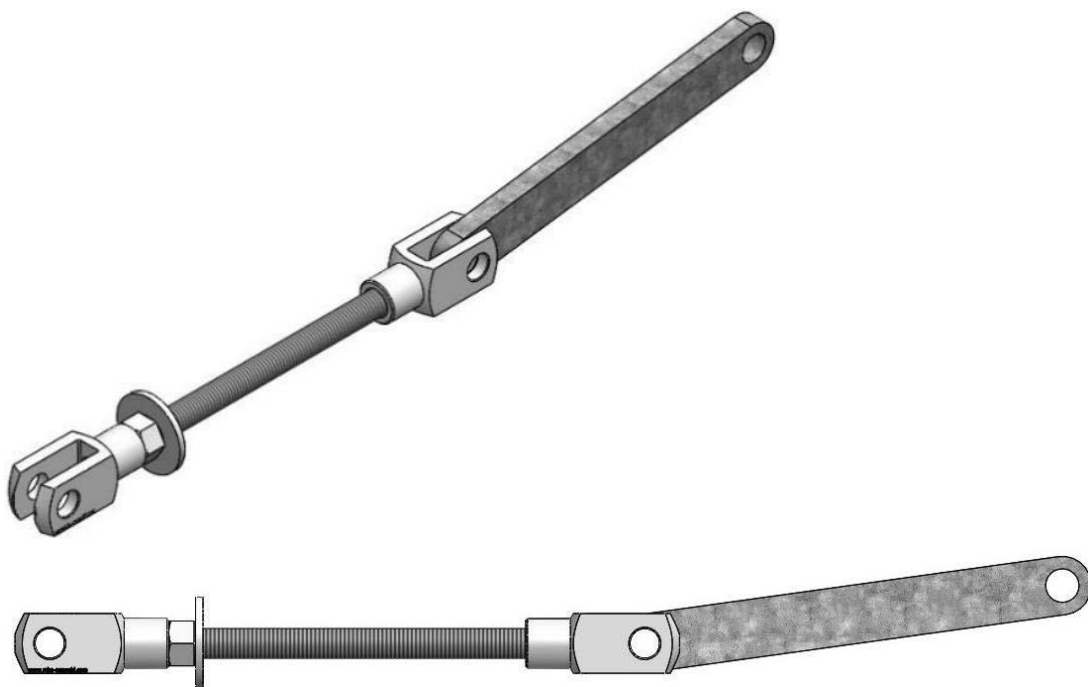


Figura 2.66 - Transmissão do movimento da 4ª versão

IV – Gancho

O movimento produzido por este gancho é bastante diferente do movimento do gancho da 1ª versão do MB. Este MB requer uma amplitude de movimento superior à existente na 1ª versão. De forma a suprir a necessidade de amplitude do movimento, foram realizadas três alterações ao desenho do gancho:

- Alteração da localização do furo de transmissão – Sendo esta afastada do eixo do gancho, dando ao sistema mais amplitude de movimento e velocidade de atuação;
- Elevação do eixo do gancho relativamente à versão 1.3 do MB (figura 2.68) – Esta alteração também ajuda a aumentar a amplitude de movimento, permitindo que o gancho, quando completamente atuado, esteja mais horizontal (observar os ângulos da figura 2.67);
- Alteração do braço mais comprido do gancho – Devido à alteração do eixo do gancho, o braço mais comprido fica demasiado na vertical, comprometendo um correto encaixe do varão calandrado. Para evitar essa eventualidade foi retirado algum material do braço mais comprido do gancho (observar as linhas a cheio e a tracejado da figura 2.68).

A construção deste gancho processa-se da mesma forma que o da versão 1.3.

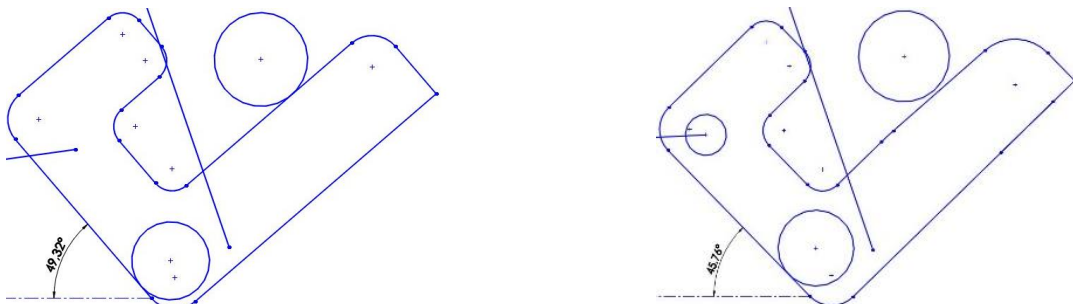


Figura 2.67 - Comparação dos ângulos com a horizontal entre o gancho da versão 1.3 e 4 do MB, respetivamente

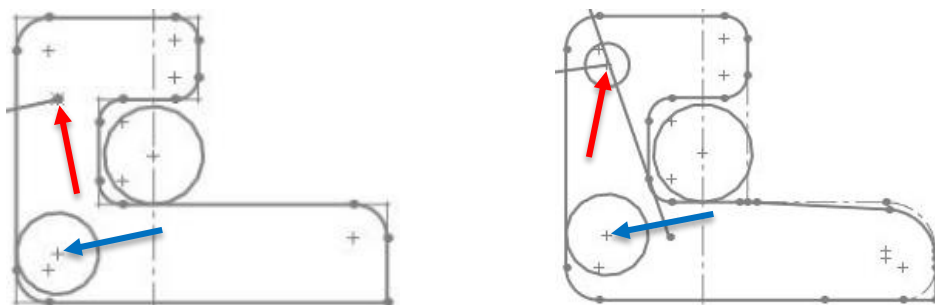


Figura 2.68 - Comparação entre o gancho da versão 1.3 e 4 do MB, respetivamente. Seta vermelha – Localização do furo de transmissão; Seta azul – eixo do gancho

V – Ligação das peças moveis à plataforma

A ligação das peças móveis à plataforma processa-se da mesma forma que na versão 1.3 do MB, a K7 foi apenas adaptada para funcionar com este MB. Para garantir o correto funcionamento do MB, foram reduzidas as folgas entre os componentes e a K7 com anilhas.

VI – Dimensionamento da mola à compressão.

Um dos elementos chave deste mecanismo é a mola. Ela deve ter força suficiente para vencer a inércia e a força de atrito, gerada entre o gancho e o varão calandrado, do contentor metálico. A mola foi calculada para o pior cenário possível, que corresponde ao início do movimento (figura 2.69).

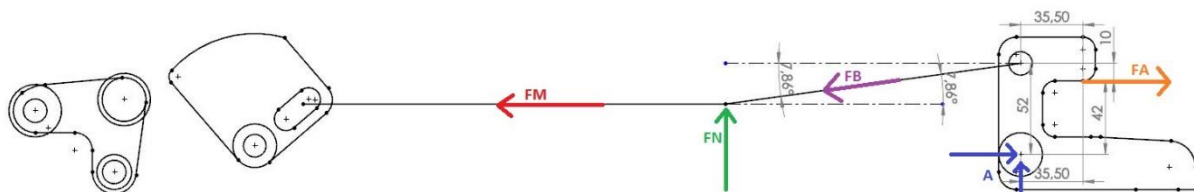


Figura 2.69 - Forças que atuam no desacoplamento da plataforma de segurança com o varão calandrado na 4ª versão do MB

Todas as considerações feitas para esta mola são as mesmas já descritas no dimensionamento da mola à compressão da versão 1.3. As características finais da mola, bem como o seu aspeto podem ser vistos na tabela 3 e figura 2.52.

Tabela 4 - Características da mola a enviar para produção

Mola com extremidades cortadas em esquadria e afagadas à mó	
Nº de espiras	10 + 2
L	136 mm
L0	90 mm
Passo	12,94 mm
Diâmetro medio do enrolamento	28 mm
Diâmetro do arame	3,5 mm

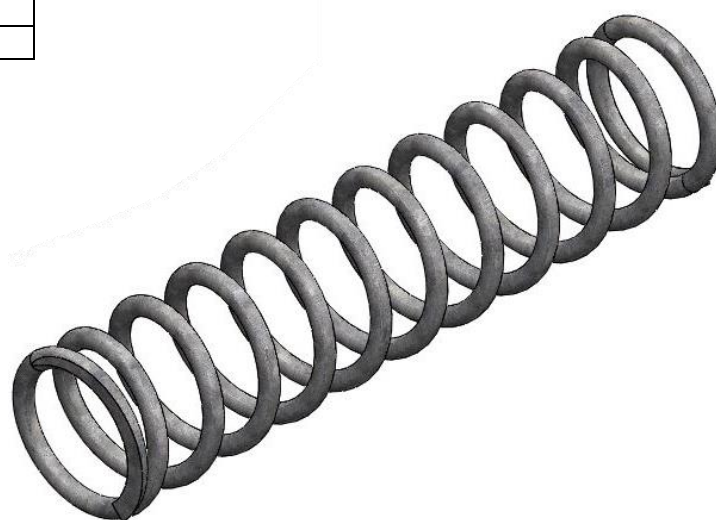


Figura 2.70 - Mola da 4ª versão do MB

VII – Dimensionamento da mola de torção

Este elemento tem como função colocar o balancete na caixa da calha à primeira oportunidade, garantindo que o resto deste mecanismo atua na altura certa. A atuação desta mola provoca uma força constante no balancete, obrigando-o a estar constantemente em contacto com a calha, e garantindo que à primeira oportunidade o balancete entre na caixa da calha.

Esta mola tem que ter uma força tal que vença a força de contacto exercida entre o bloqueio do balancete e o balancete. Na figura 2.71 encontram-se representadas as forças envolvidas no cálculo desta parte do mecanismo.

Para calcular a força necessária a esta mola, é necessário ter em consideração a força exercida pela mola de compressão, e decompor os elementos da figura 2.71 em forças exercidas.

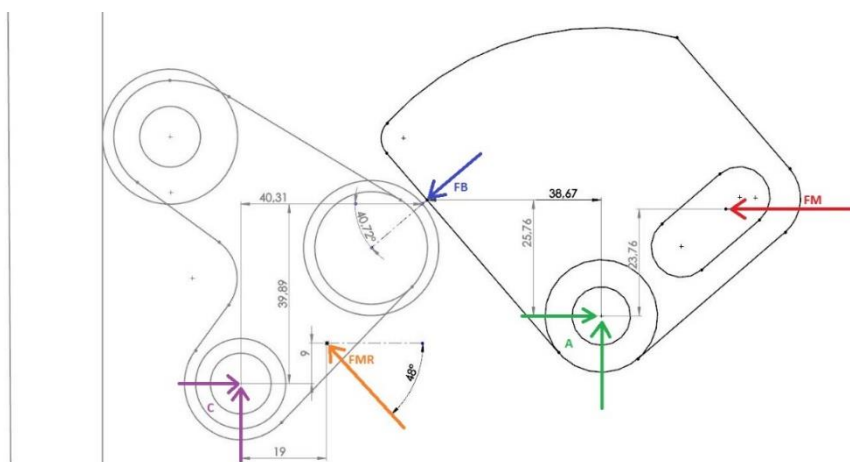


Figura 2.71 - Forças que atuam no balancete da 4ª versão do MB

1º Cálculo

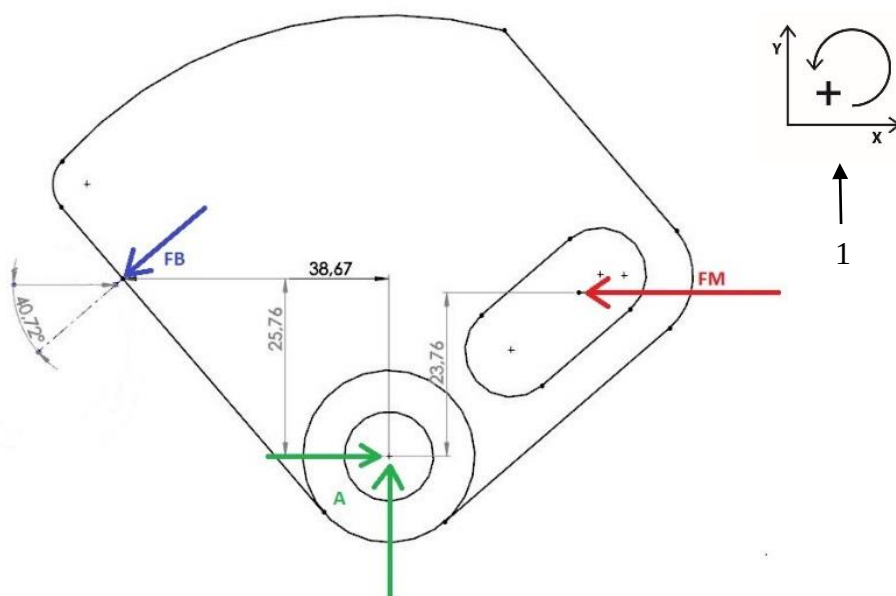


Figura 2.72 - Esquema do 1º cálculo. As setas (azul, verde e vermelho) representam a direção e os sentidos das forças envolvidas. (1) - Representação dos sentidos positivos considerados

Considerando a força $FM = 30 \text{ kgf} = 294,3 \text{ N}$

$$\begin{cases} \Sigma F_x = 0 \\ \Sigma F_y = 0 \\ \Sigma M_A = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} -FM - FB \cdot \cos(40,72) + Ax = 0 \\ -FB \cdot \sin(40,72) + Ay = 0 \\ +FM \cdot 23,76 + FB \cdot \sin(40,72) \cdot 38,67 + FB \cdot \cos(40,72) \cdot 25,76 = 0 \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} -294,3 - FB \cdot \cos(40,72) + Ax = 0 \\ -FB \cdot \sin(40,72) + Ay = 0 \\ +294,3 \cdot 23,76 + FB \cdot \sin(40,72) \cdot 38,67 + FB \cdot \cos(40,72) \cdot 25,76 = 0 \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} Ax = 175,872 \text{ N} \\ Ay = -101,936 \text{ N} \\ FB = -156,257 \text{ N} \end{cases}$$

A força FB vai ser exercida como uma força de atrito aplicada num rolamento com o núcleo em POM. Considerando um coeficiente de atrito estático para o POM igual a 0,2 (RoyMech).

$$FBA = FB \cdot \mu \quad (1)$$

Considerando FBA a força de atrito e FB a força normal a superfície, substituindo fica:

$$FBA = 156,257 \cdot 0,2$$

$$FBA = 31,25 \text{ N}$$

2º Cálculo

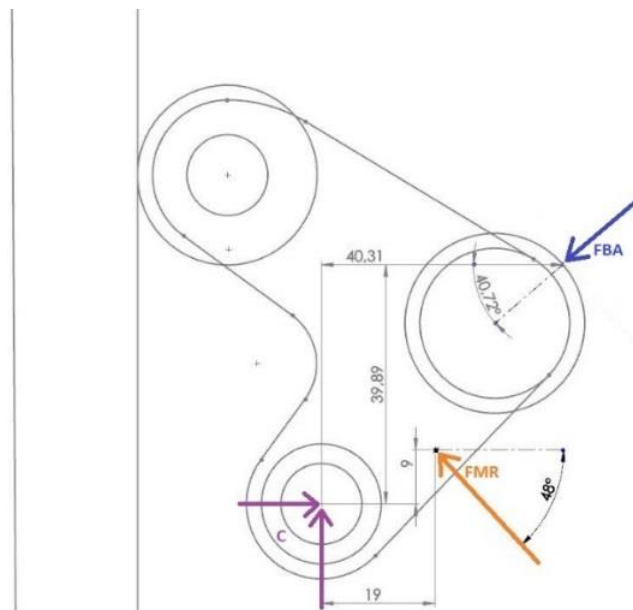


Figura 2.73 - Esquema do 2º cálculo. As setas (roxa, laranja e azul) representam a direção e os sentidos das forças envolvidas

$$\begin{cases} \Sigma_{F_x} = 0 \\ \Sigma_{F_y} = 0 \\ \Sigma_{M_A} = 0 \end{cases} \Leftrightarrow
\begin{cases} Cx - FMR * \cos(48) - FBA * \cos(40,72) = 0 \\ Cy + FMR * \sin(48) - FBA * \sin(40,72) = 0 \\ FMR * \sin(48) * 19 + FMR * \cos(48) * 9 - FBA * \sin(40,72) * 40,31 + FBA * \cos(40,72) * 39,89 = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} Cx - FMR * \cos(48) - 31,25 * \cos(40,72) = 0 \\ Cy + FMR * \sin(48) - 31,25 * \sin(40,72) = 0 \\ FMR * \sin(48) * 19 + FMR * \cos(48) * 9 - 31,25 * \sin(40,72) * 40,31 + 31,25 * \cos(40,72) * 39,89 = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} Cx = -35,21 \text{ N} \\ Cy = 85,80 \text{ N} \\ FMR = -88,02 \text{ N} \end{cases}$$

Características gerais da mola

O dimensionamento das molas é realizado considerando a força mínima necessária em *kgf*.

$$FMR = 88,02/9,81 = 8,97 \approx 9 \text{ kgf}$$

Esta mola foi dimensionada considerando que será concebida a partir do mesmo material das anteriores. Neste caso considerou-se o índice da mola (*C*) igual a 6.

Cálculo do diâmetro do arame

Para calcular o diâmetro do arame são necessárias várias expressões matemáticas como:

A expressão do fator de correção do esforço cortante (*K*) para uma mola de torção é dada por:

$$K = \frac{4*C^2 - C - 1}{4*C*(C - 1)} \quad (11)$$

$$K = \frac{4*6^2 - 6 - 1}{4*6*(6 - 1)}$$

$$K = 1,14$$

A expressão da tensão normal admissível (σ_{adm}) para uma mola de torção é:

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_{rot}/9,81}{N} \quad (12)$$

sendo σ_{rot} a tensão de rotura do material, e *N* o coeficiente de segurança. Neste caso considerou-se *N* = 1,3.

A expressão da força máxima aplicada na mola de torção (P_{max}) é dada por:

$$P_{max} = \frac{\pi*d^3*\sigma_{adm}}{32*R1*k} \quad (13)$$

sendo *R1* a distância do ponto de aplicação da força P_{max} e o centro do enrolamento da mola, neste cálculo P_{max} toma o valor de FMR. Substituindo fica:

$$9 = \frac{\pi * d^3 * \frac{980/9.81}{1.3}}{32 * 17 * 1.14}$$

$$d = 2.84$$

$$d \approx 3 \text{ mm}$$

$$D = C * d \quad (4)$$

$$D = 6 * 3 = 18 \text{ mm}$$

Cálculo do número de espiras

No dimensionamento de molas de torção, deve ter-se em consideração a deformação angular prevista que a mola venha a sofrer no seu normal funcionamento. Na mola em análise esse valor é $\theta = 37^\circ = 0.65 \text{ rad}$ logo, temos:

$$\theta = \frac{64 * P * R1 * D * n}{E * d^4} \quad (14)$$

$$0.65 = \frac{64 * 10 * 17 * 18 * n}{\frac{190000}{9.81} * 3^4}$$

$$n = 5.2 \approx 6 \text{ espiras}$$

As principais características da mola, assim como a sua representação esquemática e localização no balancete, podem ser observadas na tabela 5 nas figuras 2.74 e 2.75, respetivamente.

Tabela 5 - Características da mola a enviar para produção

Características da mola de torção	
Nº de espiras	6
Diâmetro medio do enrolamento	18 mm
Diâmetro do arame	3 mm

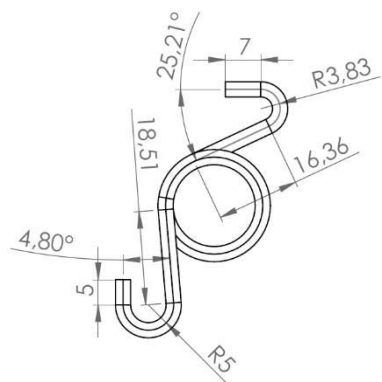


Figura 2.74 - Mola de torção da 4ª versão do MB

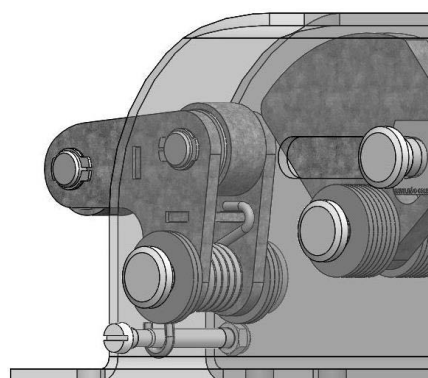
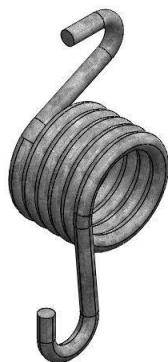


Figura 2.75 - Localização da mola do balancete

2.4. Estrutura Resistente da Plataforma de Segurança

Entenda-se como estrutura resistente da plataforma de segurança todos os elementos constituintes da plataforma, com exceção do mecanismo de bloqueio (MB).

Durante o decorrer do projeto foram modeladas três estruturas. A primeira estrutura foi modelada com o intuito de ajudar a ter uma ideia dimensional da mesma, ajudando a desenvolver o MB; A segunda estrutura foi modelada e apresentada ao cliente; A terceira estrutura foi desenvolvida depois de realizada a alteração no MB, atualmente é a estrutura que está em uso.

2.4.1. 1ª Versão da estrutura da plataforma de segurança

A forma construtiva desta versão é bastante deficiente a nível estrutural. A intenção principal foi apenas perceber onde iriam ser fixados os elementos do mecanismo de bloqueio, ajudando a amadurecer a ideia. Esta versão é totalmente constituída por chatas cortadas a laser e roletes maquinados concebidos em POM. As calhas e os suportes dos roletes são ainda quinados (Figura 2.76).

Representado na figura 2.77 está a estrutura da plataforma sem o mecanismo de bloqueio. A estrutura completa desta versão pode ser vista na figura 2.7 (pág. 16).

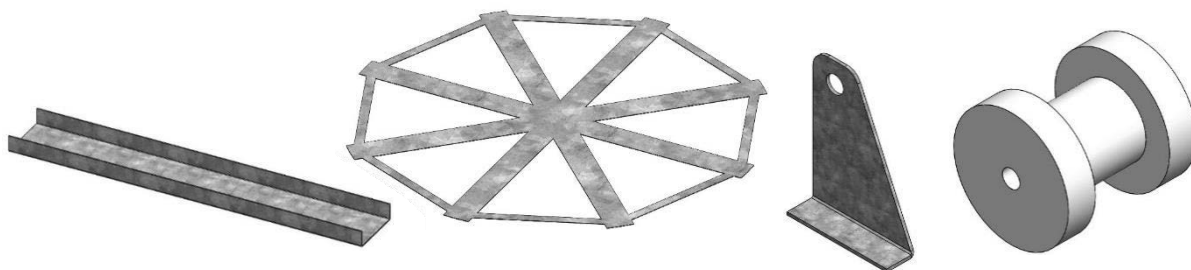


Figura 2.76 - Elementos constituintes da 1ª versão da plataforma de segurança

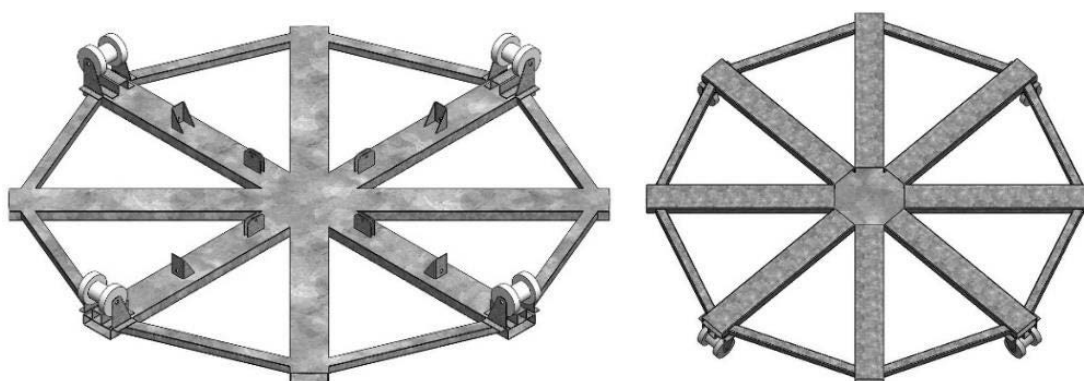


Figura 2.77 - Estrutura da plataforma de segurança, frente e verso

2.4.2. 2ª Versão da estrutura da plataforma de segurança

Depois da ideia do MB estar mais definida, foi proposto que a construção da plataforma fosse feita com perfis tubulares. Esta alteração torna a plataforma mais resistente, mais fácil de construir e mais barata.

Esta versão foi pensada e construída de forma a passar nos testes de normalização, e desenhada para resistir a pequenos embates com o contentor. A construção desta estrutura é mais complexa que a anterior. Seguidamente são discutidos todos os elementos constituintes e a forma de construção dos mesmos.

I – Estrutura tubular

A construção com perfis tubulares foi pensada de forma a oferecer grande resistência estrutural à plataforma de segurança. A construção foi feita com quatro estruturas triangulares representadas da figura 2.78.

A plataforma foi projetada desta forma para ser fácil construir. O processo de construção inicia-se soldando isoladamente os quatro triângulos e a cruz central (Figura 2.79). Posteriormente soldam-se os quatro triângulos à cruz central ficando a estrutura tubular concluída (figura 2.80).

O perfil de tubo usado na estrutura triangular tem perfil de $40 \times 25 \times 3 \text{ mm}$. Os tubos da cruz central têm dimensões diferentes dos outros, o perfil usado neste caso tem dimensões de $40 \times 40 \times 3 \text{ mm}$. O eixo do gancho irá trabalhar no interior dos tubos com perfil circular. É ainda soldada nesta fase, a peça que transmite a força da mola do MB à plataforma de segurança (figura 2.41, pág. 24).

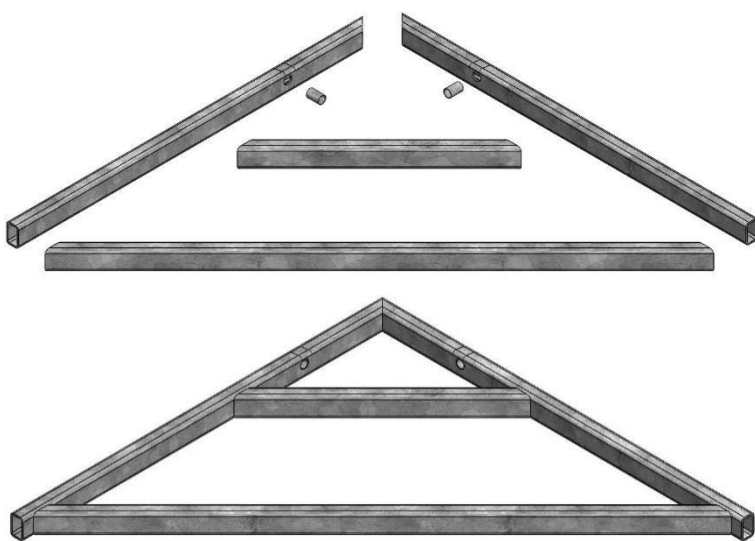


Figura 2.78 - Estrutura triangular da 2ª versão da plataforma de segurança

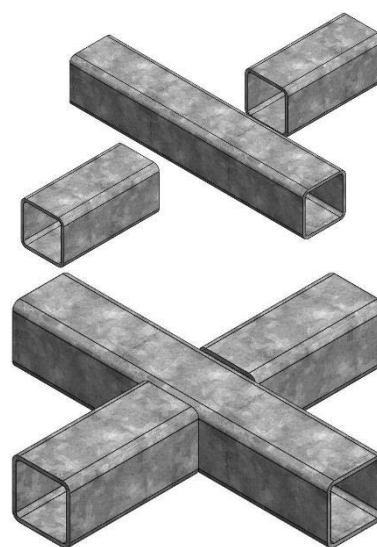


Figura 2.79 - Cruz central

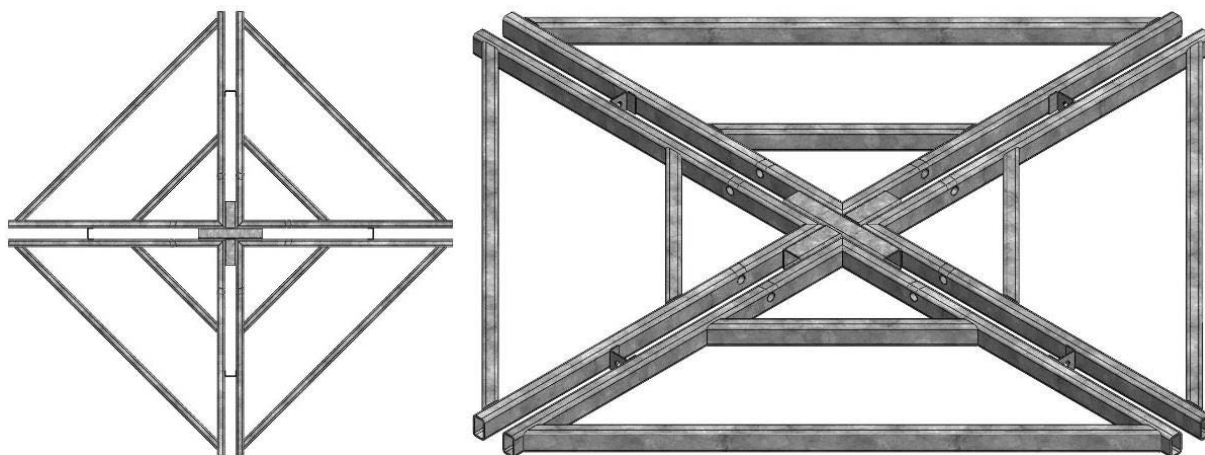


Figura 2.80 - Estrutura da 2ª versão da plataforma de segurança

II – Roldanas e guiamento da plataforma.

As roldanas (figura 2.81) guiam a plataforma de segurança dentro da cuba com a ajuda das calhas. O seu desenho, a reduzida folga, e o género de contacto existente entre as calhas e as roldanas impedem que a plataforma descaia para qualquer um dos lados e descarrile, evitando-se assim o uso de duas roldanas em série e poupando-se espaço necessário ao contentor. As roldanas são feitas em POM maquinado e o suporte destas é feito em chapa quinada (figura 2.82). Este ponto é tratado, com mais detalhe, na 3ª versão da estrutura da plataforma.

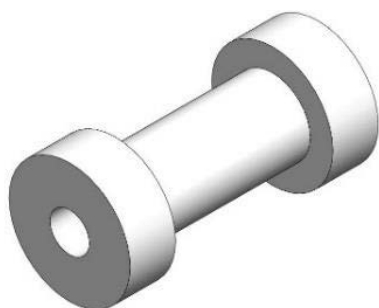


Figura 2.81 - Roldana

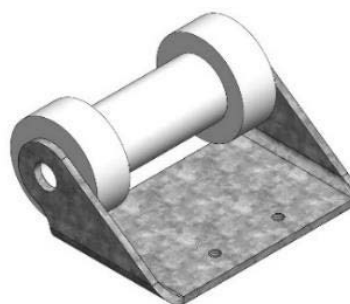


Figura 2.82 - Estrutura da roldana

III – Proteção contra desbloqueios involuntários do MB.

Um dos maiores problemas deste tipo de MB é a vulnerabilidade a acionamentos involuntários. Qualquer pessoa pode pisar, acidentalmente, o gancho e desbloquear um trinco, ou mais, podendo levar à falha da plataforma provocando acidentes. Este problema também se põe durante o decorrer dos testes de normalização, devido ao facto, de nesta fase de teste ser necessário solicitar a plataforma com 150 *kgf* nos sítios mais problemáticos, usando um disco com 300 *mm* de diâmetro.

A adição das chapas das nas figuras 2.83 e 2.84 permitiram resolver os problemas mencionados em cima. Em conjunto, estas chapas impedem contactos acidentais com o gancho, e protegem a transmissão do movimento. Como existe um reduzido espaço na zona onde trabalha o gancho e o varão calandrado, torna-se impossível a um transeunte acionar o MB com o pé

(figura 2.85). O reduzido espaço, conjugado com a inclinação do corte das chapas, acaba também por favorecer o guiamento do varão calandrado no gancho. Todas as chapas são cortadas a laser, e duas delas são ainda quinadas.

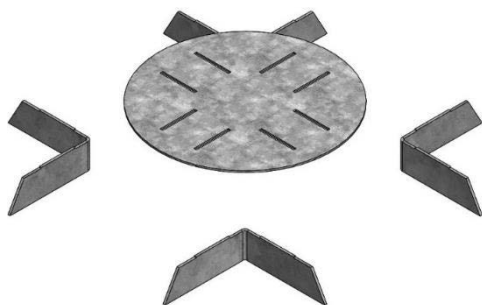


Figura 2.83 - Parte central da proteção contra desbloqueios involuntários

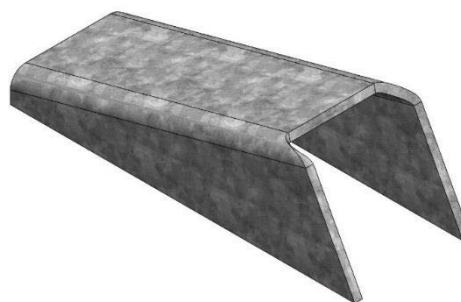


Figura 2.84 - Proteção contra desbloqueios involuntários e do MB

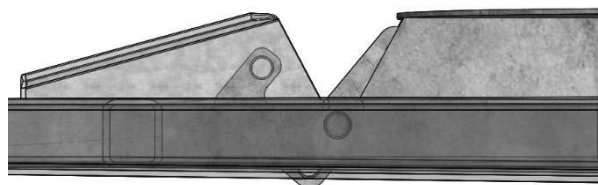
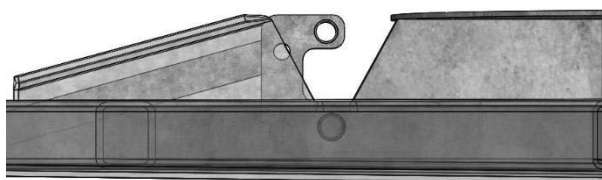


Figura 2.85 - Proteção contra desbloqueios involuntários

IV – Proteção contra quedas de transeuntes.

Para a proteção de quedas de transeuntes seleccionou-se uma grelha representada na figura 2.86, em que esta terá a configuração presente na figura 2.87. A grelha seleccionada apresenta as seguintes características:

- Quadricula galvanizada;
- Malha: 34 * 38 mm;
- Barras portantes: 30 * 3 mm;
- Varão separador: 5 mm.

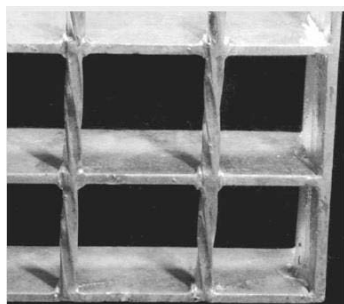


Figura 2.86 - Tipo de grelha metálica

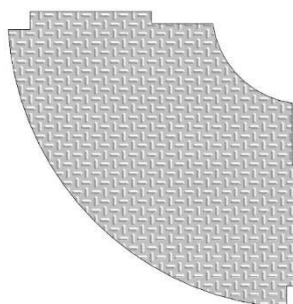


Figura 2.87 - Configuração da grelha metálica

A 2ª versão da plataforma de segurança com todos os componentes fica com o aspeto que se pode ver na figura 2.88.

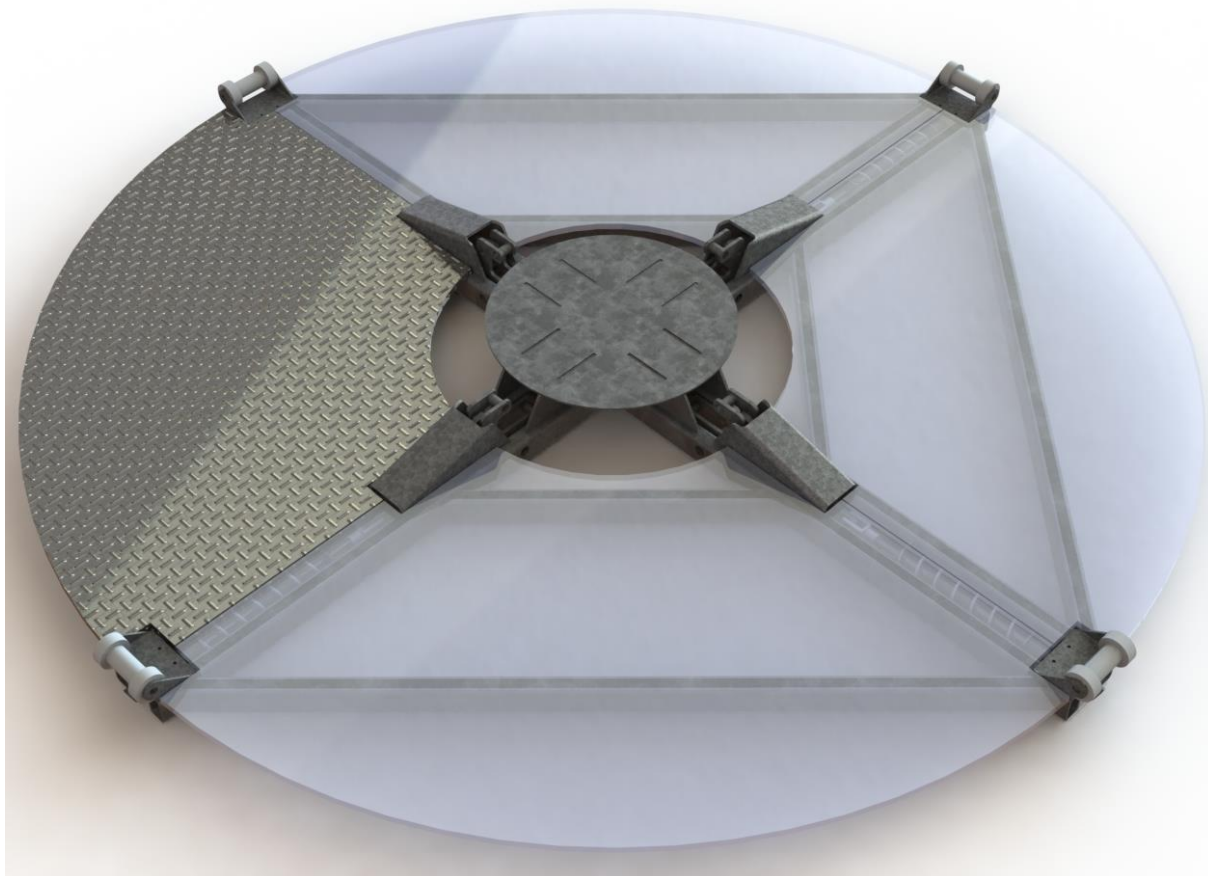


Figura 2.88 - 2ª Versão da plataforma de segurança, com transparência na estrutura de proteção contra a queda de transeunte

2.4.3. 3ª Versão da estrutura da plataforma de segurança.

Esta versão surge com o objetivo de eliminar alguns problemas de montagem e manutenção do mecanismo de bloqueio, acabando também por resolver os problemas de guiamento e fixação de componentes. O desenho geral desta versão é bastante semelhante ao da 2ª versão. Seguidamente são discutidos todos os elementos constituintes e a forma de construção dos mesmos.

I – Estrutura Tubular.

Nesta versão o perfil de tubo da estrutura triangular foi alterado, aumentou-se o tamanho para $50 \times 40 \times 4 \text{ mm}$. Esta alteração foi necessária devido a dois fatores:

- A fixação da K7 à plataforma de segurança é feita por intermédio de parafusos. Como o perfil da 2ª versão é estreito torna-se difícil furar o tubo;

- A 2ª versão da plataforma de segurança foi dimensionada para resistir a 500 *kgf*. Devido ao tipo de bloqueio e à massa que a estrutura a encaixar na plataforma deve ter, foi considerado que não teria resistência estrutural suficiente se fosse mantido o perfil original.

A presente estrutura triangular, em comparação com a estrutura da 2ª versão, deixou de ter a barra de reforço central. A referida barra dificultaria a operação de soldadura e não ofereceria resistência adicional. Por estes motivos, nesta versão optou-se por suprimir este componente (figura 2.89).

O perfil da cruz central, também foi aumentado devido à necessidade de se aumentar o afastamento entre as estruturas triangulares de 40 para 70 *mm*, passando o perfil do tubo a ter as seguintes dimensões: 70 * 50 * 3 *mm* (figura 2.90).

O processo de construção é igual ao da 2ª versão. Depois da estrutura soldada, fica com o aspeto apresentado na figura 2.91.

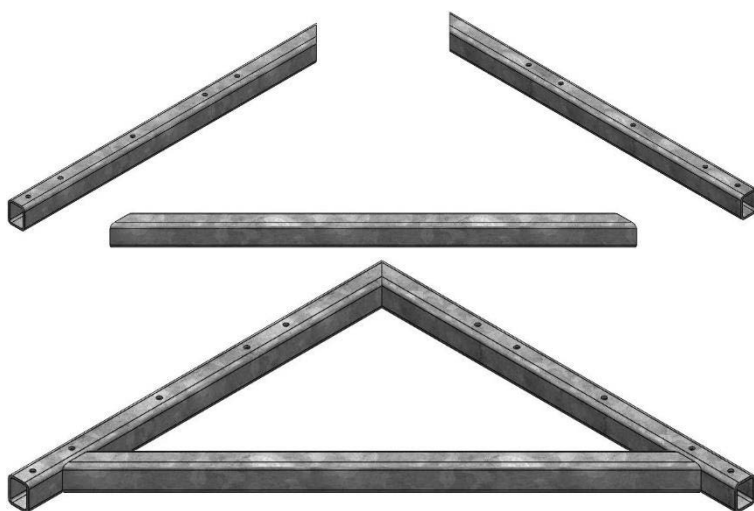


Figura 2.89 - Estrutura triangular da 3ª versão da plataforma de segurança

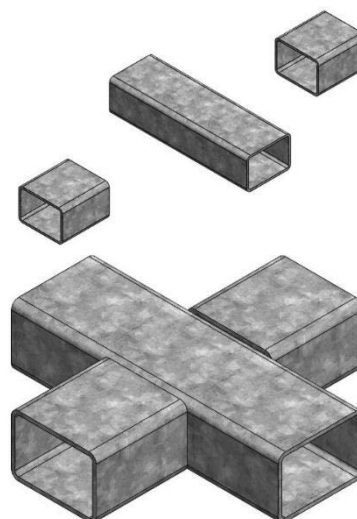


Figura 2.90 - Cruz central

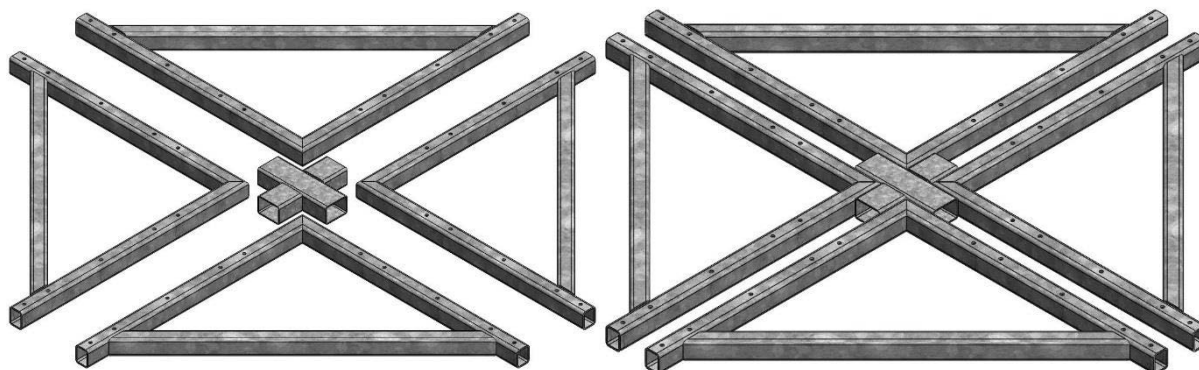


Figura 2.91 - Estrutura da plataforma de segurança

II – Roldanas de guiamento da plataforma.

Entre a presente versão e a 2ª, os componentes de guiamento sofreram variadas alterações, tais como:

- A distância entre o centro das roldanas e o centro de gravidade da plataforma foi aumentado – Esta alteração oferece mais estabilidade à plataforma (Figuras A.13, A.14 e A.15, pág. 9 dos anexos);
- As roldanas foram ampliadas – Devido ao tipo de contacto existente, a nova geometria fornece mais estabilidade aos movimentos ascendente e descendente da plataforma;
- A estabilização da plataforma é assegurada pelas abas laterais das roldanas (figura 2.92) – Quando a plataforma tenta inclinar para qualquer um dos lados, as partes laterais das roldanas bloqueiam o movimento mantendo-a horizontal (figura 2.94). A folga lateral entre a roldana e a calha é bastante reduzida, têm de 2,5 mm de cada lado, permitindo assim uma pequena oscilação, mas não permitindo que se torne instável. Esta folga também ajuda os roletes, evitando esforços e desgaste excessivo.

O conjunto das roldanas (figura 2.93) é constituído por duas chapas simétricas cortadas a laser e quinadas, um rolete em POM, um veio freirado, dois freios, e duas anilhas.

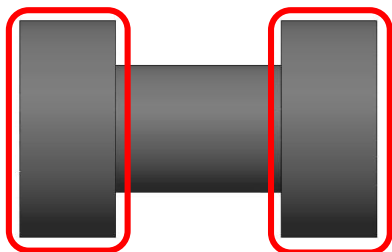


Figura 2.92 – Roldana. Retângulos vermelhos – abas laterais da roldana

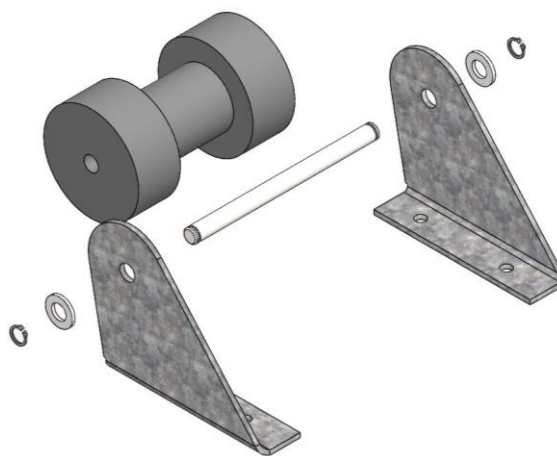


Figura 2.93 - Conjunto da roldana

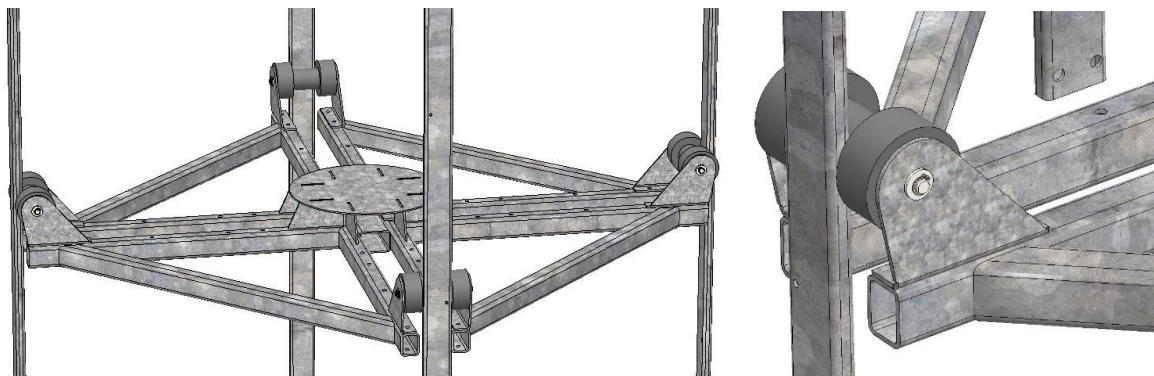


Figura 2.94 - Demonstração da forma de estabilização da plataforma de segurança

III – Proteção contra desbloqueios involuntários do MB

Nesta a versão, a proteção contra desbloqueios involuntários e o guiamento do acoplamento é feita da mesma forma que na versão anterior. A única alteração entre esta versão e a anterior é a substituição da chapa que protege o MB pela K7.

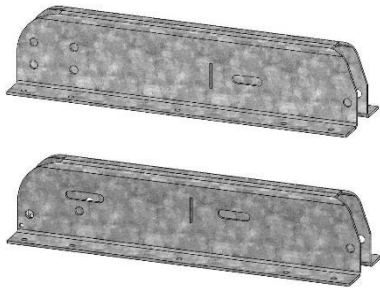


Figura 2.95 - Proteção do gancho e do MB

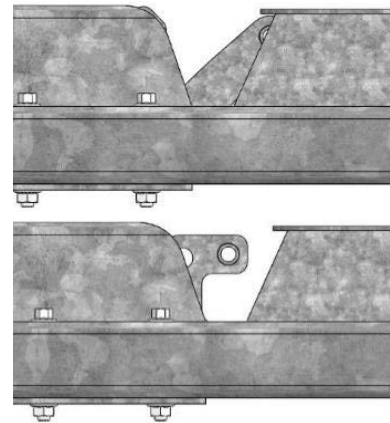
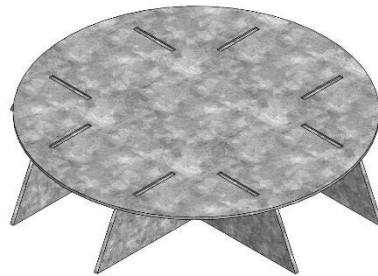


Figura 2.96 - Demonstração da proteção contra desbloqueios involuntários

IV – Proteção contra quedas de transeuntes.

A proteção nesta versão será feita da mesma forma que na versão anterior, apenas alterou-se o desenho da estrutura (figura 2,97 e figura A.8, *pág.* 5 dos anexos).

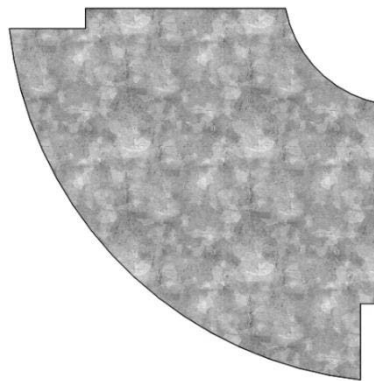


Figura 2.97 - Configuração da grelha metálica

2.5. Ensaios de Resistência Estrutural

A configuração da plataforma de segurança desenvolvida neste relatório, necessita de mais resistência estrutural que as configurações com contrapesos implementadas pelas empresas da concorrência. Esta elevada necessidade de resistência estrutural deve-se ao tipo de ligação que é estabelecida entre o contentor e a plataforma. Como o engrenamento é lento, a plataforma terá de resistir à totalidade da força provocada pela massa do contentor metálico, juntamente com a massa do sistema de extração.

Nas plataformas de segurança da concorrência, esta necessidade de resistência estrutural não se verifica, devido ao tipo de funcionamento. O contentor ao entrar na cuba de betão, vence a força exercida pela massa dos contrapesos da plataforma de segurança, descendo tanto a plataforma de segurança como o contentor metálico em uníssono para o fundo da cuba de betão. Como não existe nenhum encaixe, nem abertura de nenhum mecanismo, o movimento é fluído. Na realidade, a força de impacto causada pelo contentor metálico na altura em que entra em contacto com a plataforma de segurança é dissipada pelo movimento imediato da plataforma no sentido descendente, evitando-se assim a necessidade de uma elevada resistência estrutural.

A configuração de plataforma desenvolvida no decorrer deste estágio não permite dissipar assim a energia e acaba por sofrer o esforço na totalidade. As áreas que acabam por ser mais solicitadas são os contactos entre a plataforma e as calhas, e a estrutura da plataforma em si. É preciso ter ainda em consideração que o operador de grua, que tanto pode ser uma pessoa bastante cuidadosa, como uma pessoa menos cuidadosa, podendo influenciar o nível de carregamento aplicado sobre a plataforma. Podendo este variar desde uma simples colocação do contentor na plataforma até um forte impacto.

Como, para um normal funcionamento, tem de resistir a forças muito elevadas, bastante mais elevadas do que aquelas que terá de suportar para passar a norma (EN13071-2, 2008), durante a sua conceção não foram consideradas as forças previstas na norma, pois assumiu-se que se suportar as forças de funcionamento também suportará as forças de teste. Devido a esse facto, foi concebida apenas tendo em consideração as forças que terá de resistir em serviço.

De forma a facilitar os cálculos, o estudo da plataforma de segurança foi dividido em três ensaios, no primeiro ensaio (ponto 2.5.2.) são calculadas todos os componentes estruturais da plataforma de segurança (3ª versão da estrutura da plataforma de segurança e estrutura das K7s) no segundo ensaio (ponto 2.5.3.) é calculado o ferrolho da versão 1.3 do MB e no terceiro ensaio (ponto 2.5.4.) é calculado o balancete da 4ª versão do MB.

2.5.1. Cálculo da força a aplicar à estrutura da plataforma de segurança

Devido ao desconhecimento de dados técnicos que possibilitem uma correta compreensão do pior cenário possível para este sistema, que é um embate do contentor vazio à velocidade máxima do hidráulico, optou-se por considerar-se uma carga estática, de forma a não sobre dimensionar a plataforma de segurança em demasia. A força de compromisso considerada razoável, que foi tida em consideração para o dimensionamento da resistência necessária da plataforma foi, o esforço de engrenamento do contentor com a carga de lixo a meio. Esta força é composta pela soma da massa dos seguintes componentes:

- Massa prevista do sistema de extração $\approx 180 \text{ kg}$ (figura A.16, pág. 9 dos anexos);
- Massa prevista do contentor metálico $\approx 370 \text{ kg}$ (figura A.17, pág. 10 dos anexos);
- Massa prevista do tambor duplo $\approx 40 \text{ kg}$ (figura A.18, pág. 10 dos anexos);
- Massa prevista do cabeçote $\approx 70 \text{ kg}$;
- Massa de 50% do volume total do contentor metálico em de lixo $4 \text{ m}^3 * 400 \text{ kg}/\text{m}^3 = 1600 * 0.5 = 800 \text{ kg}$;

Resultado da soma dos valores apresentados = $1460 \approx 1500 \text{ kg}$.

Força a aplicar à estrutura = $1500 * 9.81 = 14715 \text{ N}$.

2.5.2. Ensaio da plataforma de segurança

Neste estudo todos os contactos (*connections*) entre elementos soldados e não soldados serão considerados ligados (*Bonded*). Esta consideração reduz a complexidade do cálculo e diminui a necessidade de recursos computacionais, não reduzindo a exatidão do cálculo, pois os componentes que não são soldados são apertados com um jogo de parafuso porca que cria uma ligação forte (ligação entre a K7 e a estrutura tubular da plataforma), com características idênticas.

Optou-se por realizar o estudo de convergência de malha apenas no estudo em que for calculada também a K7 da versão 1.3 do MB, como as estruturas das K7s são similares não há necessidade de realizar convergência de malha para as duas versões (figura 2.98).

Este estudo será analisado com diversos géneros de elementos de malha o que torna a malha geral em análise uma malha mista. Todas as chapas foram criadas com a ferramenta *Sheet Metal* (figura 2.99). As chapas criadas com esta ferramenta em análise numérica são calculadas com elementos casca. Todos os elementos tubulares foram criados com os *Structural Member's* dos *Weldments* e estes serão calculados por dois princípios:

- Os tubos furados serão calculados como elementos sólidos (figura 2.100);
- Os tubos não furados serão calculados com elementos viga (figura 2.101).

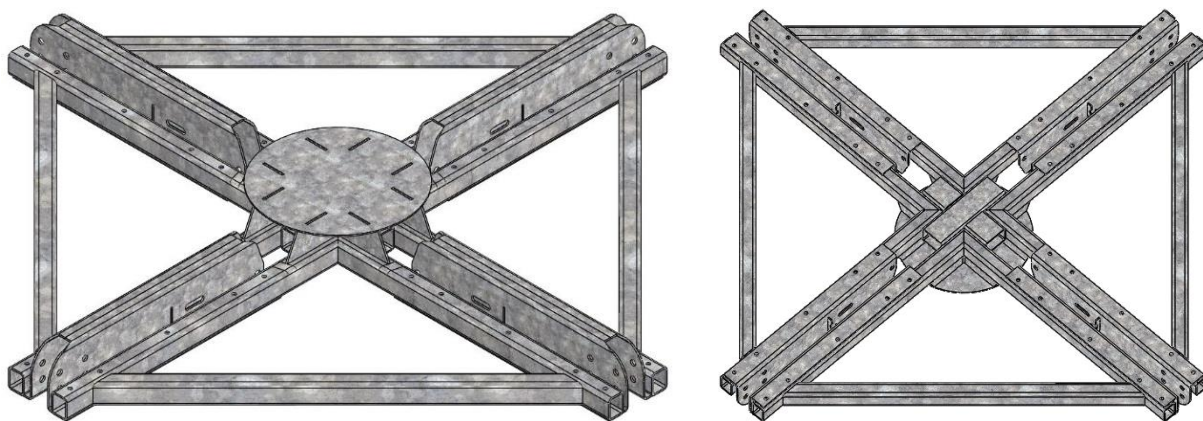


Figura 2.98 - Estrutura usada no estudo de convergência de malha, vista de frente e de verso

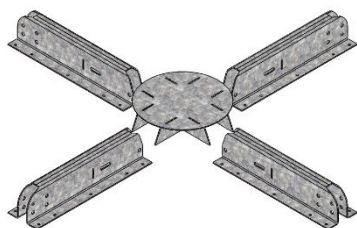


Figura 2.99 - Chapas a calcular com elementos casca

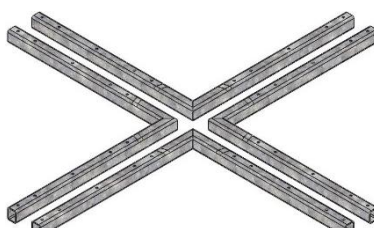


Figura 2.100 - Tubos a calcular com elementos sólidos

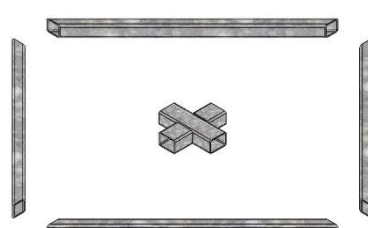


Figura 2.101 - Tubos a calcular com elementos viga

Neste estudo foi considerado que os esforços são aplicados com os varões calandrados, do contentor metálico, na estrutura (Figura 2.102 e 2.103). Esta consideração não é totalmente verdadeira já que o contentor metálico também irá assentar nas K7s, mas como o pior cenário possível de aplicação de força na estrutura ocorre no momento do encaixe do contentor na plataforma, a consideração torna-se verdadeira.

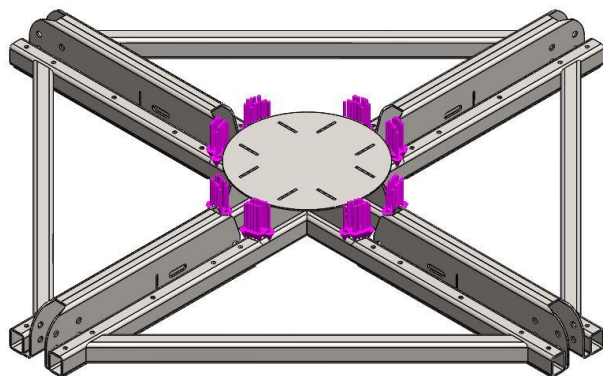


Figura 2.102 - Zonas de aplicação do esforço consideradas no cálculo. Setas roxas – Localização e direção da força

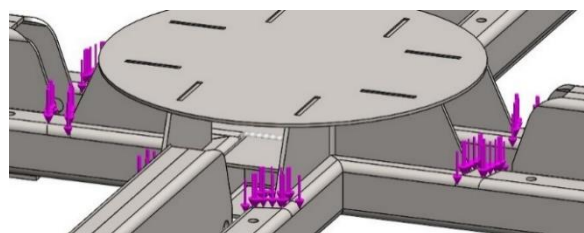


Figura 2.103 - Pormenor das zonas consideradas para a aplicação do esforço. Setas roxas – Localização e direção da força

No cálculo, as fixações são aplicadas nos furos das K7s (figura 2.104). É aí que é transmitida a força que advém do acoplamento para o ferrolho e, posteriormente, para a calha. A fixação que foi considerada, mais se assemelhar com a fixação real foi a *fixed geometry* (geometria fixa).

Os elementos viga necessitam de pontos de junta, para criarem as condições de fronteira. O *software* cria automaticamente esses pontos em cada ponta das vigas. Quando as vigas terminam em contacto com componentes que não são vigas, esses pontos são assinalados com um

símbolo esférico de cor castanha-esverdeada. Quando os elementos viga terminam em contacto com outros elementos viga, são criados símbolos cor-de-rosa (figura 2.105).

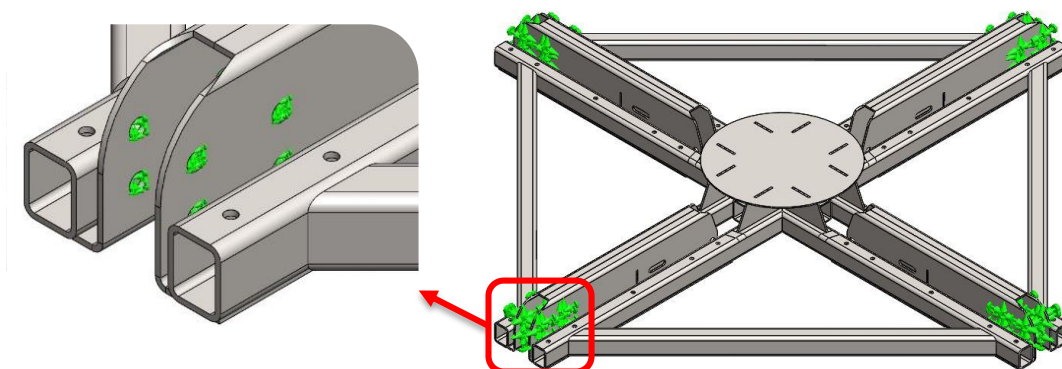


Figura 2.104 - Fixações consideradas no cálculo. Setas verdes – Bloqueio da rotação e vetores deslocamento representados (todos)

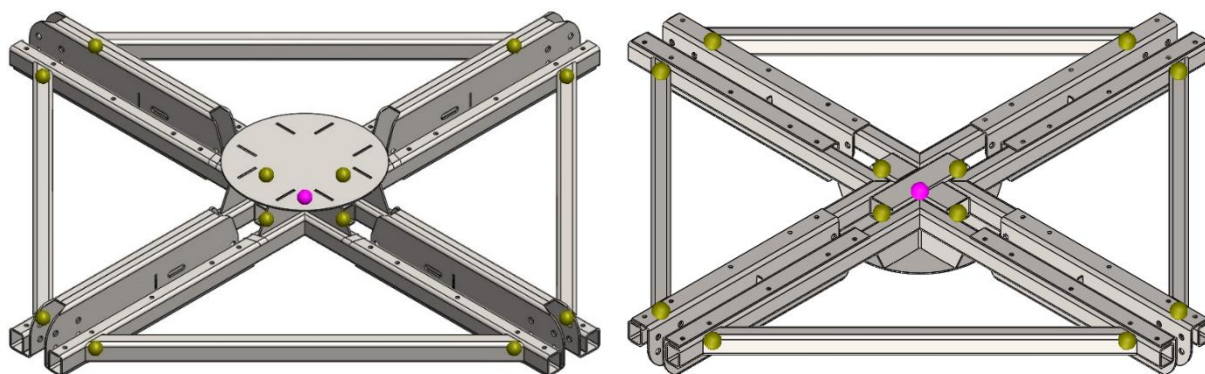


Figura 2.105 - Pontos de junta dos elementos viga. Pontos com cor castanha-esverdeada – Contacto de elementos viga com elemento não viga; Pontos com cor-de-rosa – Contacto de elementos viga com elementos viga

2.5.2.1. Estudo de convergência de malha

Na realização deste estudo de convergência de malha foram testadas três malhas para estudar o comportamento deste componente, nomeadamente, a uma malha baseada em elementos curvos de alta qualidade (*Curvature based mesh _mesh high quality*), uma malha padrão de baixa qualidade (*Standard mesh _mesh draft quality*), e a malha padrão de alta qualidade (*Standard mesh _mesh high quality*). A última malha testada foi também a que deu melhores resultados.

Os resultados para malha baseada em elementos curvos estão indicados na tabela 6 e no gráfico 2.1, os resultados da malha padrão de baixa qualidade estão indicados na tabela 7 e no gráfico 2.2, e os resultados da malha padrão de alta qualidade estão indicados na tabela 8 e no gráfico 2.3.

Tabela 6 - Estudo de convergência de malha

<i>Curvature based mesh _mesh high quality</i>			
Malha [mm]	Elementos Totais	Tensão [MPa]	Deslocamento [mm]
60	59328	140,239	0,314
50	76888	141,648	0,319
40	100398	153,463	0,32
30	142974	153,282	0,328
20	189220	154,659	0,323
10	238586	171,619	0,325
5	446829	166,620	0,328
4	802173	102,987	0,304

Gráfico 2.1 - Estudo de convergência de malha

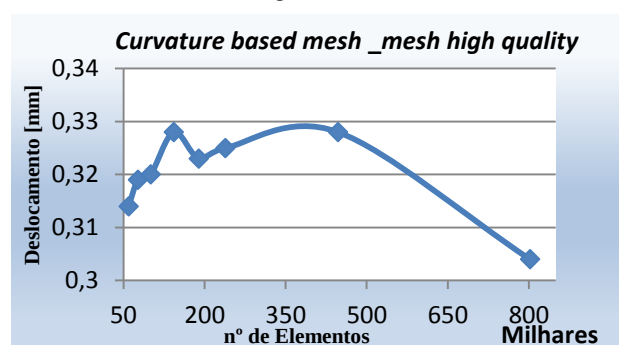


Tabela 7 - Estudo de convergência de malha

<i>Standard mesh _mesh draft quality</i>			
Malha [mm]	Elementos Totais	Tensão [MPa]	Deslocamento [mm]
40	123242	82,316	0,292
30	127047	88,585	0,291
20	136692	89,911	0,294
10	182993	92,806	0,298
5	463186	89,661	0,301

Gráfico 2.2 - Estudo de convergência de malha

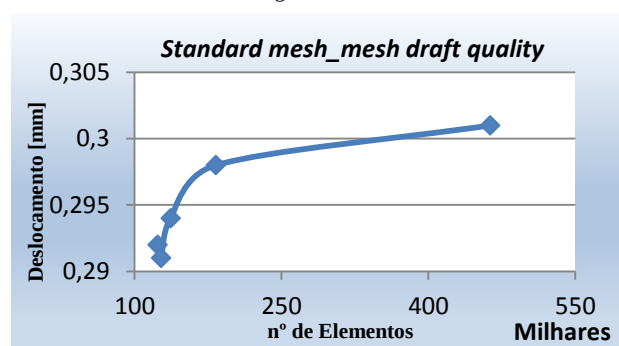
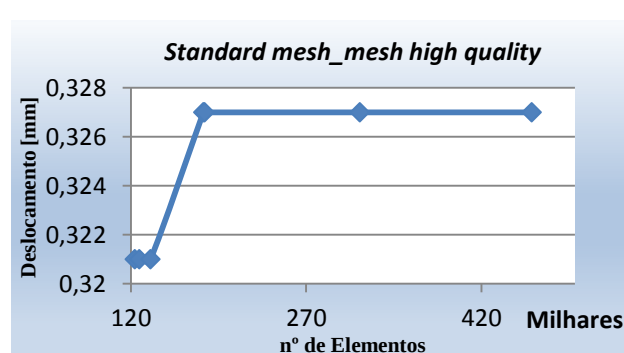


Tabela 8 - Estudo de convergência de malha

<i>Standard mesh _mesh high quality</i>			
Malha [mm]	Elementos Totais	Tensão [MPa]	Deslocamento [mm]
40	123242	146,201	0,321
30	127047	146,424	0,321
20	136692	150,089	0,321
10	181993	151,090	0,327
9	183148	149,691	0,327
6	315791	159,773	0,327
5	463186	166,521	0,327

Gráfico 2.3 - Estudo de convergência de malha



Comparando os valores dos deslocamentos da tabela 8, verifica-se que esta tem dois degraus estáveis com valores de 0,321 mm e 0,327 mm de deslocamento máximo. Considera-se portanto, que a malha é estável e capaz de dar valores de tensão fidedignos para qualquer espessura de malha. Mas, como quanto mais pequenos os elementos de malha forem mais fidedignos são os resultados, considerou-se que a malha convergiu para elementos com 10 mm de espessura. A malha que se irá usar em todos os ensaios a realizar na plataforma de segurança será a malha padrão de alta qualidade com 10 mm de espessura.

2.5.2.2. Apresentação e discussão de resultados

Depois de corrido o estudo, o *SolidWorks* apresenta os resultados em forma de *plot's*.

O *plot* deslocamento apresenta a distribuição de resultados como “*URES*”, que representa o deslocamento combinado máximo dos três vetores de deslocamento U_x , U_y e U_z .

Denominação de “*URES*” resulta da junção de “*U*” que simboliza o deslocamento e “*RES*” que identifica que é a resultante.

O deslocamento resultante segue a seguinte expressão matemática:

$$URES^2 = U_x^2 + U_y^2 + U_z^2 \quad (15)$$

O *plot* das tensões máximas segue o critério de tensão de *von Mises*, que é baseado na teoria de *von Mises-Hencky*, também conhecida como teoria da energia de distorção máxima, essa teoria afirma que um material dúctil começa a ceder plasticamente num local onde a tensão de *von Mises* se torna igual ao limite da tensão de cedência. Na maioria dos casos, o limite de escoamento é usado como limite da tensão de cedência. A teoria de *von Mises* segue a expressão:

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} \geq \sigma_{ced} \quad (16)$$

sendo σ_{VM} a tensão de *von Mises*, σ_1 , σ_2 e σ_3 as tensões principais no ponto considerado e σ_{ced} a tensão de cedência.

O cálculo do fator de segurança é realizado pelo *software* através da expressão:

$$FOS = \frac{\sigma_{ced}}{\sigma_{VM}} \quad (17)$$

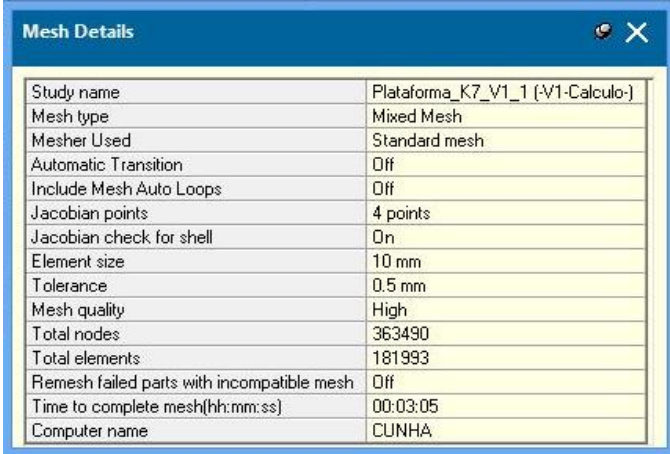
sendo *FOS* o fator de segurança.

I – Ensaio da plataforma de segurança com elementos viga

Na figura 2.106 encontram-se os detalhes da malha, após o estudo de convergência, que inclui elementos viga, casca e sólidos. Os elementos viga apresentam um aspeto diferente do resto da estrutura depois de realizada a malhagem. Os elementos casca apresentam duas cores (cinzento e laranja). Normalmente deve ser usado o elemento cinza para todas as faces exteriores (figura A.19, pág. 11 dos anexos).

Os principais resultados obtidos foram os seguintes:

- Deslocamento máximo 0,327 mm (figura A.20, pág. 12 dos anexos);
- Tensão de *von Mises* máxima 151,055 MPa (figuras A.21, A.22 e A.23, pág. 12 e 13 dos anexos);
- Fator de segurança mínimo 1,82 (figura A.25 e A.26, pág. 14 dos anexos).



Mesh Details	
Study name	Plataforma_K7_V1_1 (-V1-Calculo-)
Mesh type	Mixed Mesh
Mesher Used	Standard mesh
Automatic Transition	Off
Include Mesh Auto Loops	Off
Jacobian points	4 points
Jacobian check for shell	On
Element size	10 mm
Tolerance	0.5 mm
Mesh quality	High
Total nodes	363490
Total elements	181993
Remesh failed parts with incompatible mesh	Off
Time to complete mesh(hh:mm:ss)	00:03:05
Computer name	CUNHA

Figura 2.106 - Detalhes da malha

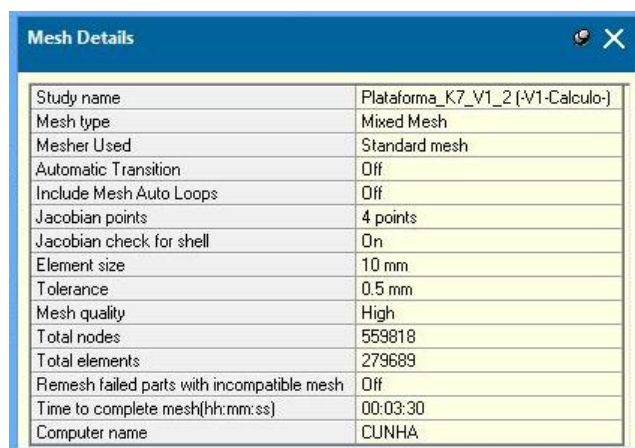
Nas figuras A.22 e A.23 (pág. 13 dos anexos) podem-se observar as tensões superiores a 40 MPa. Devido ao facto das tensões máximas serem muito localizadas, para se observar a zona de forma detalhada, foi necessário utilizar a ferramenta *iso claping* que permitiu esconder todas as tensões inferiores a um determinado valor definido pelo utilizador. Neste caso considerou-se uma tensão limite de 40 MPa. Se fosse utilizado outro valor de tensão, por exemplo 100 MPa, seria muito pouco perceptível a área de influência das tensões.

No cálculo com elementos sólidos, ou elementos casca, o *software* permite observar os resultados de forma isolada, por exemplo podemos observar os valores em cada um dos vetores de deslocamento (*X*, *Y* e *Z*), ou todos combinados. Já quando os cálculos são realizados com elementos viga, o *software* permite distinguir diferentes tipos de tensão, nomeadamente tensões axiais, tensões de flexão, e tensões de corte. Na figura A.24 (pág. 13 dos anexos) é possível observar as tensões axiais e de flexão combinadas. É possível concluir que as tensões presentes nestes elementos são residuais. O *SolidWorks* realiza este cálculo somando as tensões axiais existentes num determinado ponto com as tensões de flexão de ambas as direções vetoriais.

Na figura A.25 (pág. 14 dos anexos) todas as áreas a azul-escuro têm o fator de segurança igual ou superior a 10. Na figura A.26 (pág. 14 dos anexos) é possível ver quais as zonas com o fator de segurança inferior a 8, sendo que o mínimo fator de segurança existente é de 1,82.

II – Ensaio da plataforma de segurança sem elementos viga

O estudo apresentado a seguir segue na generalidade os mesmos parâmetros que o anterior, mas apenas foram utilizados elementos sólidos e casca na malha usada para o cálculo. O tipo de malha usada e a dimensão dos elementos são os mesmos do estudo anterior (malha padrão com 10 mm de espessura). Esta malha apresenta mais elementos e nós que a anterior devido aos elementos sólidos e viga serem calculados de diferentes maneiras. Os detalhes e aspeto da mesma podem ser vistos nas figuras 2.107 e A.27 (pág. 15 dos anexos), respectivamente.



Mesh Details	
Study name	Plataforma_K7_V1_2 (-V1-Calculo-)
Mesh type	Mixed Mesh
Mesher Used	Standard mesh
Automatic Transition	Off
Include Mesh Auto Loops	Off
Jacobian points	4 points
Jacobian check for shell	On
Element size	10 mm
Tolerance	0.5 mm
Mesh quality	High
Total nodes	559818
Total elements	279689
Remesh failed parts with incompatible mesh	Off
Time to complete mesh(hh:mm:ss)	00:03:30
Computer name	CUNHA

Figura 2.107 - Detalhes da malha

Os principais resultados obtidos foram os seguintes:

- Deslocamento máximo $0,336 \text{ mm}$ (figura A.28, pág. 15 dos anexos);
- Tensão de *von Mises* máxima $125,754 \text{ MPa}$ (figura A.29, pág. 16 dos anexos);
- Fator de segurança mínimo 2,18 (figuras A.30 e A.31, pág. 16 e 17 dos anexos, respetivamente).

A diferença entre o deslocamento máximo do 1º estudo para o 2º é de apenas $0,009 \text{ mm}$, o que é insignificante. Já a diferença entre as tensões de *von Mises* são consideráveis, atingindo os $25,3 \text{ MPa}$ de diferença.

A diferença das tensões pode dever-se ao contacto da cruz central com a restante estrutura, pois no cálculo com elementos viga este contacto é feito com os pontos de junta (figura 2.105), e no cálculo sem elementos viga é considerado que todas as faces da cruz central são ligadas (foi usada a ligação *Bonded*) rigidamente à estrutura triangular.

Observando as figuras 2.108 e 2.109 torna-se bastante evidente o a razão da diferença. Assinalado com quadrados a vermelho na figura 2.109, estão as tensões geradas pelo contacto *bonded*, entre a cruz central e a restante estrutura (este contacto para esta aplicação providencia uma correta distribuição dos esforços). Já na figura 2.108, estão as tensões geradas pelos contactos viga. Nesta não existe nenhuma evidência de tensões elevadas que sejam geradas devido ao contacto entre a cruz central e a estrutura. É ainda possível também ver que as tensões não se encontram bem distribuídas.

A comparação direta entre os tipos de análise apenas são possíveis no *plot* do fator de segurança, pois no *plot* das tensões de *von Mises* os elementos viga não aparecem, o que inviabiliza qualquer comparação.

Devido ao enunciado, foi considerado que os elementos viga não permitem obter resultados fidedignos, nesta utilização.

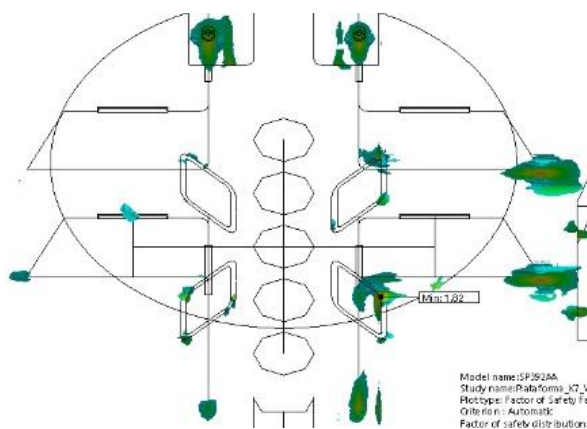


Figura 2.108 - Pormenor da cruz central do estudo com elementos viga

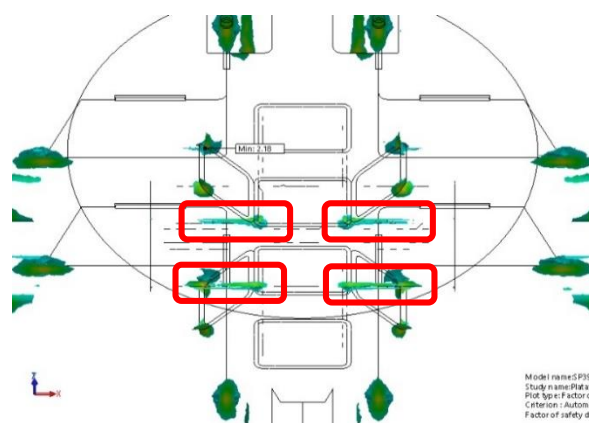


Figura 2.109 - Pormenor da cruz central do estudo sem elementos viga

III – Ensaio da Plataforma de Segurança fixa em 4 furos

Nos estudos anteriormente apresentados, as fixações estão aplicadas em oito furos das K7s (figura 2.104). Esta consideração pode levar a um mau dimensionamento das K7s, pois quando estas se encontram bloqueadas apenas quatro furos exercem força (figura 2.110 e 2.111). Para emendar este possível erro foi realizado outro estudo, em que todos os parâmetros são iguais aos do estudo II (Ensaio da plataforma de segurança sem elementos viga).

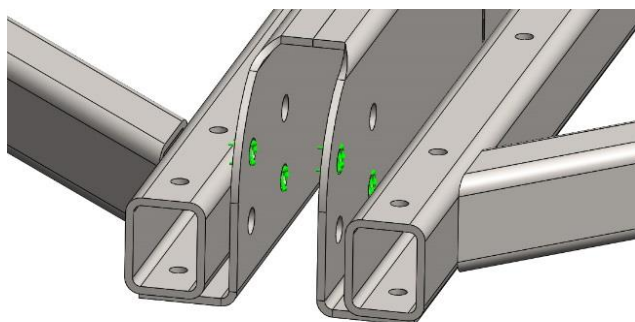


Figura 2.110 - Novas fixações consideradas no cálculo. Setas verdes – Bloqueio dos vetores deslocamento representados (todos)

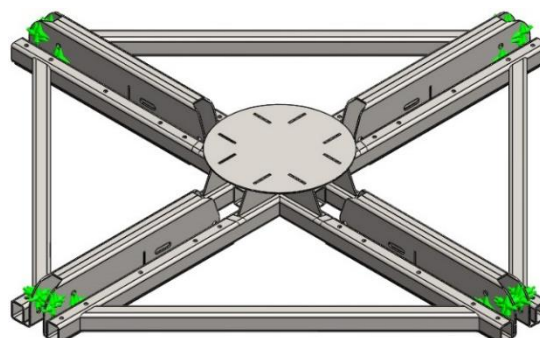


Figura 2.111 - Novas fixações consideradas no cálculo. Setas verdes – Bloqueio dos vetores deslocamento representados (todos)

Os principais resultados obtidos foram os seguintes:

- Deslocamento máximo 0,388 mm (figura A.32, pág. 18 dos anexos);
- Tensão de *von Mises* máxima 131,712 MPa (figuras A.33 e A.34, pág. 18 e 19 dos anexos);
- Fator de segurança mínimo 2,09 (figuras A.35 e A.36, pág. 20 dos anexos).

A distribuição de tensões em toda a estrutura é muito semelhante ao estudo II independentemente das fixações. A maior diferença de tensões apresenta-se apenas nas K7s. A K7 que contém fixações em oito pontos apresenta uma tensão máxima de 100 MPa (figura 2.112), enquanto a K7 com fixações em quatro pontos apresenta uma tensão máxima de 130 MPa (figura 2.113). As tensões visíveis nas figuras 2.112 e 2.113 são superiores a 70 MPa.

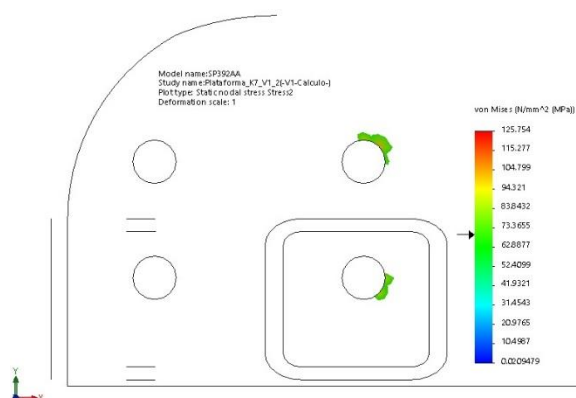


Figura 2.112 - Tensões na K7 com fixação nos oito furos

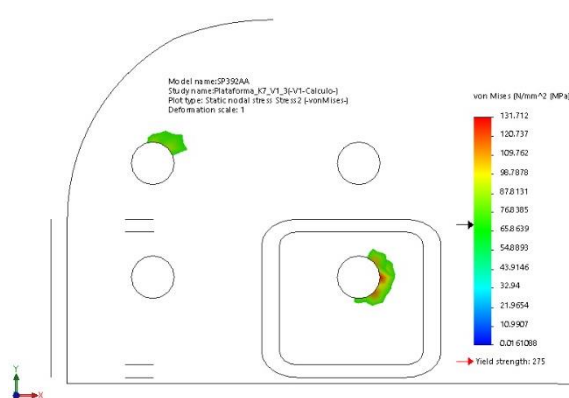


Figura 2.113 - Tensões na K7 com fixação em quatro furos

IV – Ensaio da plataforma de segurança com a 4ª versão da K7

Neste ensaio a força é aplicada no mesmo local do que nas versões anteriores, e as fixações são estabelecidas em quatro pontos de cada K7 (figura 2.114). Todos os parâmetros de malha são iguais ao estudo III, bem como todos os restantes parâmetros estabelecidos na plataforma de segurança e na K7. Os detalhes desta malha e o aspeto da mesma encontram-se nas figuras 2.115 e A.37 (pág. 21 dos anexos), respetivamente.

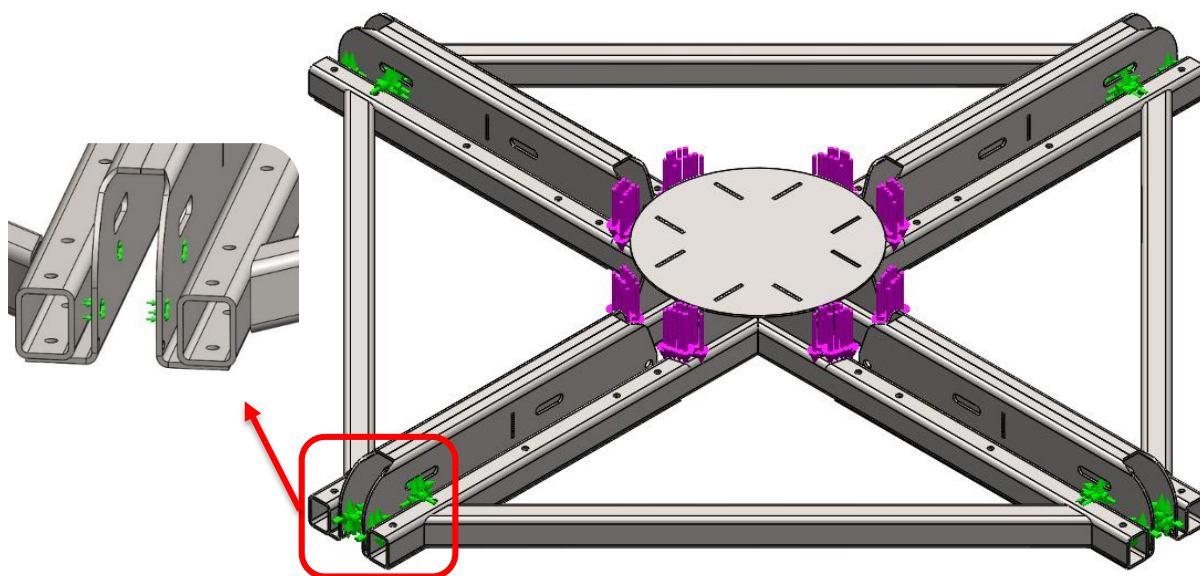
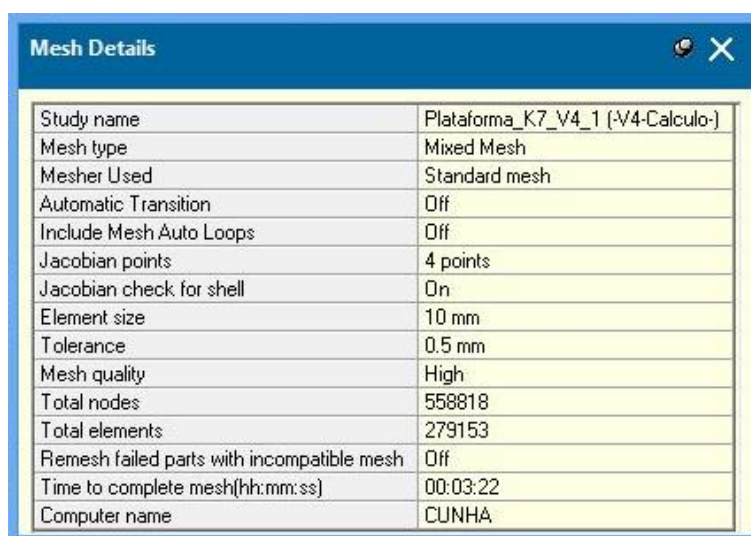


Figura 2.114 - Fixações e esforços considerados no cálculo. Setas verdes – Bloqueio dos vetores deslocamento representados (todos); Setas roxas – Localização e direção da força



Mesh Details	
Study name	Plataforma_K7_V4_1 (-V4-Calculo-)
Mesh type	Mixed Mesh
Mesher Used	Standard mesh
Automatic Transition	Off
Include Mesh Auto Loops	Off
Jacobian points	4 points
Jacobian check for shell	On
Element size	10 mm
Tolerance	0.5 mm
Mesh quality	High
Total nodes	558818
Total elements	279153
Remesh failed parts with incompatible mesh	Off
Time to complete mesh(hh:mm:ss)	00:03:22
Computer name	CUNHA

Figura 2.115 - Detalhes da malha

Os principais resultados obtidos foram os seguintes:

- Deslocamento máximo 0,417 mm (figura A.38, pág.21 dos anexos);
- Tensão de *von Mises* máxima 144,092 MPa (figuras A.39 e A.41, pág.22 e 23 dos anexos, respetivamente);
- Fator de segurança mínimo 1,91 (figura A.40, pág. 22 dos anexos).

Comparando este estudo com os anteriores, apenas varia o tipo de K7, bem como as tensões suportadas por este componente. As tensões na estrutura da plataforma mantêm-se iguais em ambos os sistemas.

Esta versão de K7 apresenta maiores tensões que a primeira versão devido a ter *slot's* próximos das fixações, logo tem menos quantidade de material resistente num dos apoios.

V – Ensaio da plataforma de segurança com carga excêntrica

Um dos maiores problemas que esta configuração de plataforma de segurança pode ter em funcionamento, reside no facto do contentor não estar completamente vertical na altura do acoplamento, o que leva a que saia um ferrolho da caixa da calha antes dos outros. Para que seja possível garantir que a plataforma não entra em cedência se este problema acontecer, foi criado um estudo que simula este efeito. O estudo foi realizado com a K7 da 1ª versão, os detalhes e aspeto da malha são os presentes no II ensaio e podem ser vistos nas figuras 2.107 e A.27 (pág. 15 dos anexos), respectivamente.

As considerações relativas às ligações entre componentes são as mesmas que foram tomadas no III estudo.

Neste estudo as fixações são aplicadas apenas em quatro furos por K7 e em apenas três K7s (figura 2.116).

A força que foi tida em consideração para o dimensionamento da resistência necessária da plataforma foi a força provocado pelo engrenamento do contentor vazio. Esta força é composta pela soma da massa dos seguintes componentes:

- Massa prevista do sistema de extração $\approx 180 \text{ kg}$ (figura A.16, pág. 9 dos anexos);
- Massa prevista do contentor metálico $\approx 370 \text{ kg}$ (figura A.17, pág. 10 dos anexos);
- Massa prevista do tambor duplo $\approx 40 \text{ kg}$ (figura A.18, pág. 10 dos anexos);
- Massa prevista do cabeçote $\approx 70 \text{ kg}$.

Resultado da soma dos valores apresentados = 660 kg .

Força a aplicar a estrutura = $660 * 9,81 = 6474,6 \text{ N}$.

Neste estudo a solicitação aplicada à estrutura não será uniforme. É aplicada em apenas metade da estrutura (figura 2.116). A força que será exercida nos tubos do lado da K7 que não será fixa (figura 2.117) é de 60% da força total (396 kgf). Os restantes 40% (264 kgf) são aplicados a 90° relativamente aos anteriores (figura 2.118).

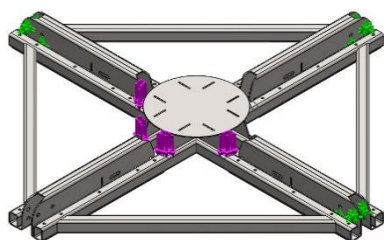


Figura 2.116 - Fixações e esforços considerados no cálculo

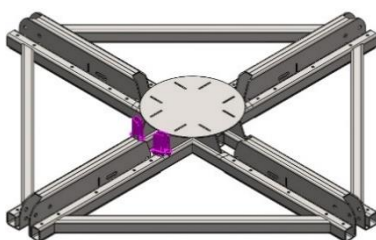


Figura 2.117 - Zona de aplicação de esforços

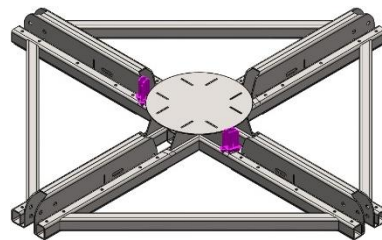


Figura 2.118 - Zona de aplicação de esforços

Os principais resultados obtidos foram os seguintes:

- Deslocamento máximo $1,99 \text{ mm}$ (figura A.42, pág. 24 dos anexos);
- Tensão de *von Mises* máxima $220,165 \text{ MPa}$ (figuras A.43 e A.44, pág. 24 e 25 dos anexos, respetivamente);
- Fator de segurança mínimo 1,22 (figura A.45, pág. 25 dos anexos).

Toda a estrutura aguenta bem o esforço. De notar que as partes que apresentam as tensões mais elevadas são os furos das K7s e as junções da cruz central.

2.5.3. Ensaio do ferrolho

O ferrolho será solicitado ao corte, devido ao contacto existente entre este e a calha. Na figura 2.119 está representada uma vista em corte do MB. As linhas de construção a cheio representam o tubo onde o MB irá atuar. O tubo/calha têm paredes com 3 mm de espessura e apenas prenderá o ferrolho com uma das paredes (a que se encontra mais perto da plataforma de segurança).

O ferrolho será seguro em cinco pontos, quatro deles são os tubos visíveis a amarelo nas figuras 2.24 e 2.25 (pág. 20) e o quinto é o furo onde aperta o varão roscado que transmite o movimento. Os quatro tubos transmitem o esforço para a K7, e esta por sua vez, transmite os esforços para a plataforma de segurança. O contrário também é verdade (figura 2.120).

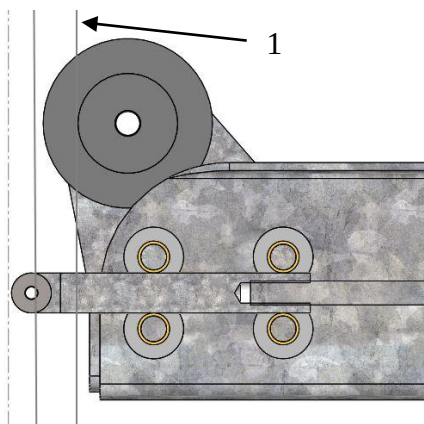


Figura 2.119 - MB atuado na posição de segurança, visto em corte. (1) – Linhas de construção a cheio representam a calha

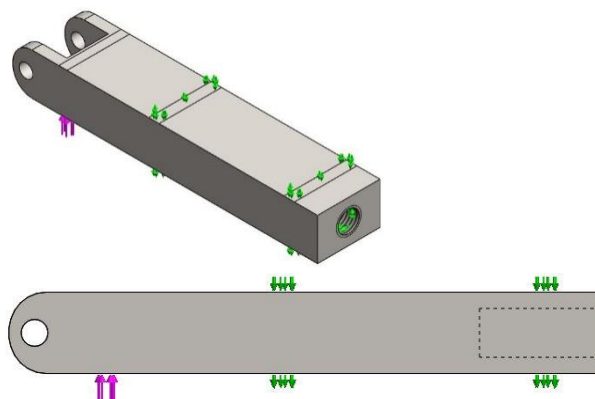


Figura 2.120 - Fixações e esforços. Setas verdes – Bloqueio dos vetores deslocamento representados (todos); Setas roxas – Localização e direção da força

Para ser possível dimensionar o ferrolho foi necessário estabelecer certas considerações, tais como:

- Cada tubo bloqueia o movimento do ferrolho numa área de 5 mm e apenas na direção vertical;
- A calha aplica a força no ferrolho numa área de 3 mm;
- No furo onde aperta o varão roscado existe um bloqueio em todas as direções.

Estas considerações só foram possíveis de realizar usando a ferramenta *split line* (figura A.6, pág. 3 dos anexos).

Convém referir que as fixações aplicadas da forma que estão representadas na figura 2.120 estão erradas, devido ao facto de não existir uma união física entre o ferrolho e os tubos. Note-se que depois da carga aplicada, apenas três das cinco fixações estarão a bloquear o movimento, passando a estar correta a representação da figura 2.121.

A força aplicada na análise dos ferrolhos é a força total do sistema descrita em 2.5.1. como estão a ser usados quatro ferrolhos, cada um deles suportará um quarto do valor total, o que corresponde a um valor de 3678,75 N.

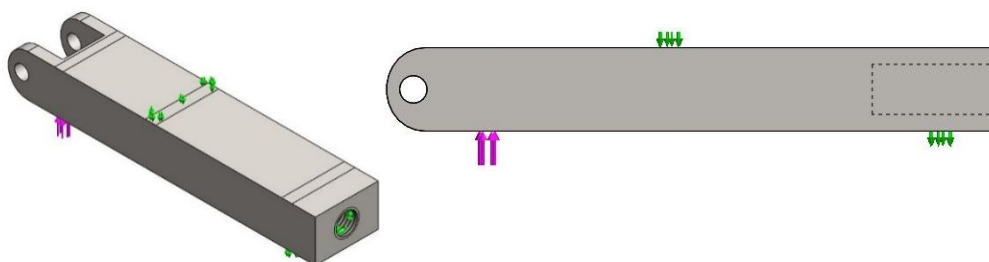


Figura 2.121 - Fixações e esforços considerados no cálculo. Setas verdes – Bloqueio dos vetores deslocamento representados (todos); Setas roxas – Localização e direção da força

2.5.3.1. Estudo de convergência de malha

Na realização deste estudo foram testadas duas malhas, com o intuito de analisar o comportamento deste componente, nomeadamente uma malha padrão de alta qualidade (tabela 9 e gráfico 2.4) e uma malha baseada em elementos curvos de alta qualidade (tabela 10 e gráfico 2.5). Em ambas as malhas apenas foram usados elementos sólidos.

Tabela 9 - Estudo de convergência de malha

<i>Standard mesh_mesh high quality</i>			
Malha [mm]	Elementos Totais	Tensão [MPa]	Deslocamento [mm]
5	4803	82,8	0,0838
4	8289	103	0,0840
3	21052	111	0,0847
2	61248	145	0,0850
1	391350	173	0,0855

Gráfico 2.4 - Estudo de convergência de malha

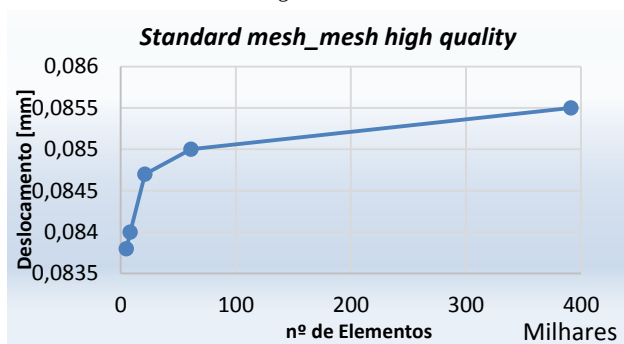
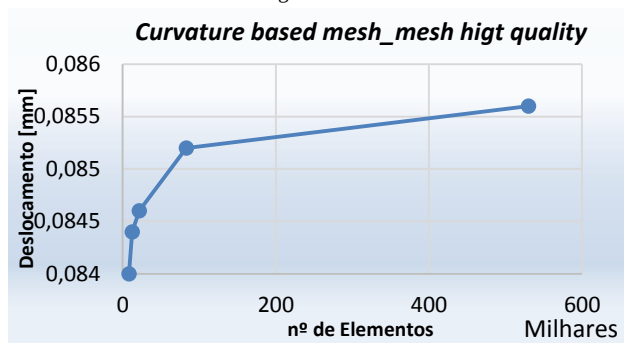


Tabela 10 - Estudo de convergência de malha

<i>Curvature based mesh_mesh high quality</i>			
Malha [mm]	Elementos Totais	Tensão [MPa]	Deslocamento [mm]
5	8372	92,1	0,0840
4	12442	117	0,0844
3	21585	135	0,0846
2	83134	186	0,0852
1	529859	227	0,0856

Gráfico 2.5 - Estudo de convergência de malha



Os resultados de deslocamento obtidos são muito semelhantes, necessitando-se portanto de analisar outros parâmetros, tais como a estabilidade da tensão máxima com o aumento do número de elementos. Desta forma verificou-se que a malha que transmite mais estabilidade é a malha com elementos padrão de alta qualidade, e portanto considera-se que esta converge para elementos com 3 mm de espessura (figura 2.122 e 2.123).

Os principais resultados obtidos foram os seguintes:

- Deslocamento máximo 0,0847 mm (figura A.46, pág. 26 dos anexos);
- Tensão de *von Mises* máxima 111 MPa (figuras A.47 e A.48, pág. 26 e 27 dos anexos, respetivamente);
- Fator de segurança mínimo 2,48 (figura A.49, pág. 27 dos anexos).

Mesh Details	
Study name	Cálculo Ferrolho (-calculo-)
Mesh type	Solid Mesh
Mesher Used	Standard mesh
Automatic Transition	Off
Include Mesh Auto Loops	Off
Jacobian points	4 points
Element size	3 mm
Tolerance	0.15 mm
Mesh quality	High
Total nodes	32176
Total elements	21052
Maximum Aspect Ratio	3.8572
Percentage of elements with Aspect Ratio < 3	99.9
Percentage of elements with Aspect Ratio > 10	0
% of distorted elements (Jacobian)	0
Time to complete mesh(hh:mm:ss)	00:00:02
Computer name	CUNHA

Figura 2.122 - Detalhes da malha

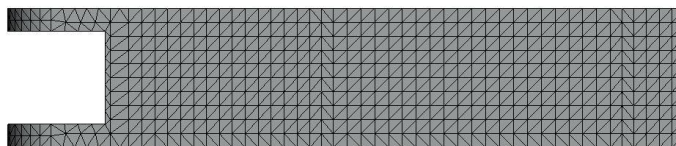


Figura 2.123 - Aspeto da malha convergida

De notar que o ferrolho aguenta bem a solicitação exigida, podendo mesmo considerar-se que se encontra sobredimensionado. Note-se que, a força de teste é superior em 800 *kgf* à solicitação em serviço e que o coeficiente mínimo de segurança obtido foi sempre superior a 2,48. Devido a este elemento ser uma montagem de várias peças e qualquer redução de espessura ou largura comprometer a montagem e o desempenho das mesmas, considera-se que o custo associado ao excesso de material, e ao peso que o excesso de material representa, não são preocupantes. Tendo em conta todos os aspetos referidos, não se aconselha qualquer alteração à mesma.

2.5.4. Ensaio do balancete

O balancete, assim como o ferrolho também está solicitado ao corte. Assim sendo, todas as considerações feitas para o ferrolho relativas ao tubo também se aplicam ao balancete (figura 2.124). Foi necessário criar cortes fictícios no balancete com a ferramenta *split line* para simular o contacto com a calha. O corte criado tem 3 *mm* e serve para localizar a aplicação da força no teste (figura 2.125). A força de teste exercida é a mesma do dimensionamento do ferrolho (3678,75 *N*).

Neste estudo foram criadas duas fixações, uma no furo central das chapas e outra no furo onde trabalha a mola. A fixação no furo central das chapas impede os deslocamentos horizontais, simulando o bloqueio que seria efetuado pela peça 2 (figura 2.59, pág. 33). A fixação no furo onde trabalha a mola não permite qualquer translação mas permite rotações, de modo a simular esse efeito foi usada a opção *Immovable (No translation)*.

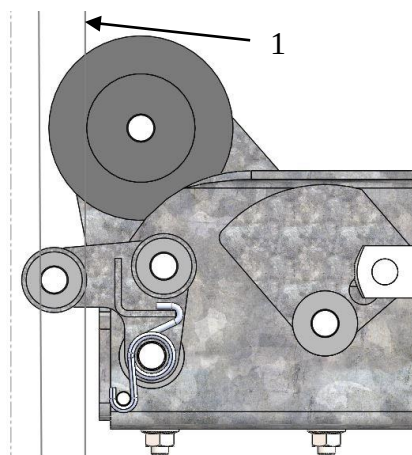


Figura 2.124 - MB atuado na posição de segurança, visto em corte. (1) – Linhas de construção a cheio representam a calha

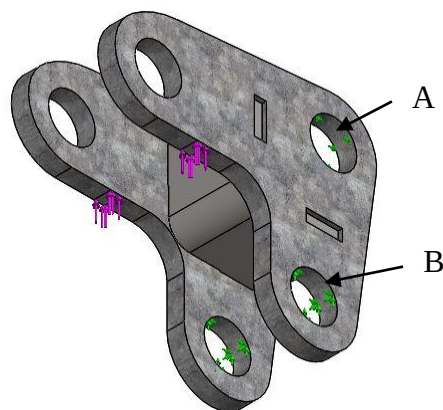


Figura 2.125 - Fixações e esforços considerados no cálculo. Setas verdes – Bloqueio dos vetores deslocamento representados (todos); Setas roxas – Localização e direção da força. (A) – Furo central das chapas; (B) – Furo onde trabalha a mola

2.5.4.1. Estudo de convergência de malha

Na realização do estudo de convergência de malha foram testadas duas malhas, com o intuito de estudar o comportamento deste componente, nomeadamente uma malha padrão de alta qualidade (tabela 11 e gráfico 2.6) e uma malha baseada em elementos curvos de alta qualidade (tabela 12 e gráfico 2.7). Em ambas as malhas apenas foram usados elementos casca.

Tabela 11 - Estudo de convergência de malha

<i>Standard mesh_mesh high quality</i>			
Malha [mm]	Elementos Totais	Tensão [MPa]	Deslocamento [mm]
5	528	77,4	0,0175
4	792	74,2	0,0176
3	1374	72,7	0,0177
2	3064	114	0,0178
1	12134	109	0,0179
0.5	48124	125	0,0179

Gráfico 2.7 - Estudo de convergência de malha

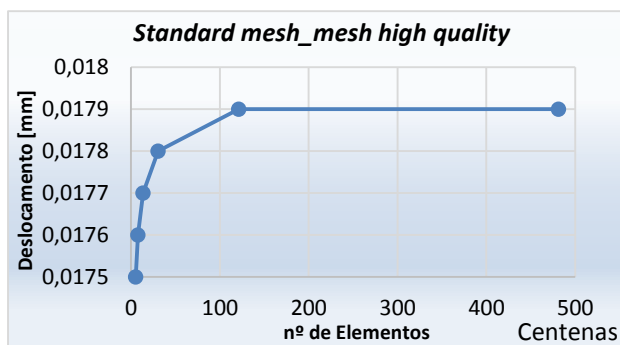
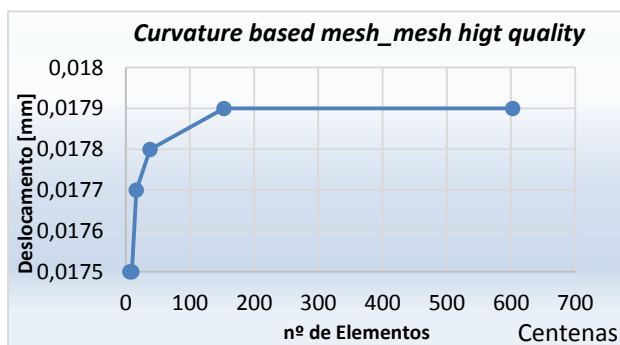


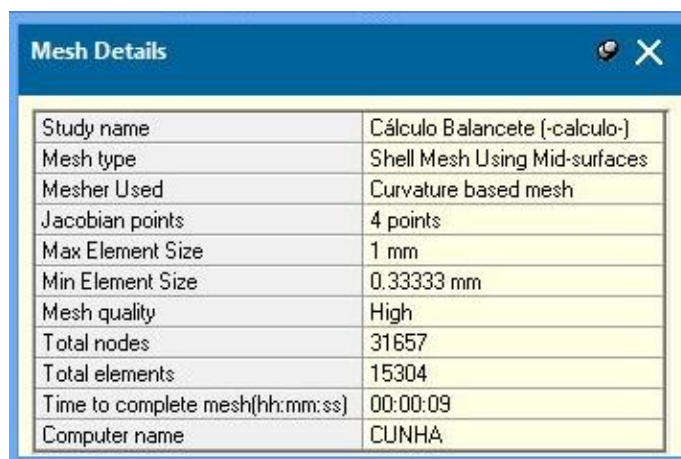
Tabela 12 - Estudo de convergência de malha

<i>Curvature based mesh_mesh high quality</i>			
Malha [mm]	Elementos Totais	Tensão [MPa]	Deslocamento [mm]
5	668	69,3	0,0175
4	978	65,7	0,0175
3	1668	76	0,0177
2	3826	101	0,0178
1	15304	119	0,0179
0.5	60294	120	0,0179

Gráfico 2.8 - Estudo de convergência de malha



Os resultados de deslocamento obtidos são muito semelhantes, necessitando-se portanto de analisar outros parâmetros, tais como a estabilidade da tensão máxima com o aumento do número de elementos. Desta forma verificou-se que a malha que transmite mais estabilidade é a malha com elementos de base curva, e portanto considera-se que esta converge para elementos com 1 mm de espessura (figuras 2.126 e A.50 (pág. 28 dos anexos)).



Study name	Cálculo Balancete (-calculo-)
Mesh type	Shell Mesh Using Mid-surfaces
Mesher Used	Curvature based mesh
Jacobian points	4 points
Max Element Size	1 mm
Min Element Size	0.33333 mm
Mesh quality	High
Total nodes	31657
Total elements	15304
Time to complete mesh(hh:mm:ss)	00:00:09
Computer name	CUNHA

Figura 2.126 - Detalhes da malha

Os principais resultados obtidos foram os seguintes:

- Deslocamento máximo 0,0179 mm (figura A.51, pág. 28 dos anexos);
- Tensão de *von Mises* máxima 119 MPa (figuras A.52 e A.53, pág. 29 dos anexos);
- Fator de segurança mínimo 2,32 (figura A.54, pág.30 dos anexos).

De notar que o balancete aguenta bem a solicitação exigida, podendo mesmo considerar-se que se encontra sobre dimensionado. Note-se que, a força de teste é superior em 800 kgf à solicitação em serviço e que o coeficiente mínimo de segurança obtido foi sempre superior a 2,32. Devido a existência do sobredimensionamento demonstrado poderá, caso se justifique, ser reavaliada a espessura das chapas exteriores de 5 para 4 ou 3 mm.

2.6. Conclusão

No primeiro estudo da plataforma de segurança, a utilização dos elementos viga não foi efetuada da forma mais apropriada. Estes elementos têm algumas limitações, limitações essas que podem levar a resultados errados. Neste estudo foram verificadas duas limitações:

- O comprimento mínimo dos elementos para que sejam considerados elementos viga. Porém esta limitação não impede o estudo;
- Pontos de junta – Estes elementos apenas criam pontos de junta nas extremidades da viga. Neste estudo era necessário que os pontos de junta fossem também possíveis de criar nas laterais dos tubos para permitir um correto dimensionamento. Mesmo que sejam criados *contact sets* nas laterais dos tubos para complementar os elementos junta, o *software* não os assume nos cálculos.

Tendo em consideração: a estrutura da plataforma de segurança sem as K7s; o facto de alguns nós apresentarem tensões que não correspondem a realidade envolvente; e os resultados dos ensaios III, IV e V (Ensaio da plataforma de segurança fixa em 4 furos, Ensaio da plataforma de segurança com a 4ª versão da K7 e Ensaio da plataforma de segurança com carga excêntrica (pág. 18 à pág. 25 dos anexos)), pode-se afirmar, que a plataforma de segurança se encontra sobredimensionada. Observando as figuras A.34, A.41 e A.44 dos anexos com atenção, verifica-se uma difícil perceção na localização dos nós com as tensões máximas. Comparando as cores visíveis nos *plots* com o gráfico de cores representativo das tensões, é possível observar que a cor verde azulada é a mais representativa nas três figuras, apresentando assim uma tensão aproximada de 60 MPa, o que dá um fator de segurança mínimo de 4,5. Tendo em conta o que foi referido anteriormente, pode-se ainda considerar que todas as tensões superiores a 60 MPa não são relevantes pois apenas representam pequenos pontos.

Em suma, a estrutura da plataforma de segurança, depois de prototipada deverá ser otimizada, com especial incidência em três pontos:

- Na estrutura da proteção contra desbloqueios involuntários do MB – Estes componentes têm 4 mm de espessura estando largamente sobredimensionados. Apenas no ensaio da plataforma de segurança com carga excêntrica, se nota algum esforço, logo esta estrutura não tem qualquer influência na resistência global da plataforma;
- No desenho da estrutura tubular – Depois de uma cuidada análise, verificou-se que não existe benefícios económicos nem estruturais para que a sua construção se processe da maneira atual (figura 2.91, pág. 48). A existência da cruz central aumenta os custos em material e mão-de-obra, reduzindo a resistência mecânica, em alternativa chegou-se a conclusão que o ideal seria realizar esta construção como ilustrado na figura A.55 (pág. 30 dos anexos);

- No perfil tubular da plataforma de solo – Este deverá ser reavaliado com o objetivo de se diminuir o tamanho, evitando assim a desnecessária resistência para a aplicação.

Relativamente aos elementos constituintes do mecanismo de bloqueio, apenas foram testados os elementos que suportam a força exercida durante o acoplamento. As conclusões retiradas do teste do ferrolho e do balancete encontram-se já referidas nos respetivos tópicos. As K7s do MB apresentam uma boa resistência, sempre com um coeficiente de segurança superior a 1,9, considerando-se portanto que a espessura de 4 *mm* é a ideal para as estruturas das K7s.

Capítulo 3. Sistema de Extração

3.1. Introdução

Este capítulo trata o desenvolvimento e dimensionamento estrutural dos componentes do sistema de extração. Este é composto por vários elementos, nomeadamente:

- *Quick* – Elemento realmente responsável pela extração do contentor de RSU. Será neste elemento que todo o esforço de extração será aplicado (ponto 3.4.);
- Plataforma de solo – Componente que dá continuidade à calçada, e evita que as águas pluviais entrem dentro do contentor metálico (ponto 3.5.);
- Niveladores da plataforma de solo – Elementos responsáveis pela ligação da plataforma de solo ao *quick* (ponto 3.6.);
- Aro de solo – Elemento que a par com a plataforma de solo, evita que as águas pluviais entrem dentro da cuba (ponto 3.7.).

3.2. Considerações Iniciais

Estes componentes têm de obedecer a vários requisitos mínimos, que são impostos pela norma e pelo cliente. A maioria dos requisitos da norma são bastante específicos e referem-se a componentes em concreto (será feita referência aos requisitos específicos nos subcapítulos associados a cada componente), existem também requisitos gerais, estes abrangem todos os componentes do contentor. Dois dos requisitos gerais da norma (EN13071-1, 2008) que consideramos mais importantes são:

- Ponto 4.4 – Todos os cantos deverão ser arredondados;
- Ponto 4.6 – A massa total permitida não pode ultrapassar 2500 *kg*. Esta massa entra em consideração com a massa do volume nominal do contentor em lixo (considerando a densidade padrão 400 *kg/m*³), e a massa de todos os componentes móveis. Nomeadamente, o *quick*, a plataforma de solo, os niveladores da plataforma de solo, o contentor metálico e a plataforma de segurança.

Os requisitos mínimos que foram solicitados pelo cliente são:

- O sistema de extração ter capacidade para suportar uma inclinação do solo de até $\pm 5\%$ ($\pm 2.86^\circ$) em duas direções;
- O *quick* com poucas alterações tem que funcionar com um de dois sistemas, ou com o sistema *Kinshofer* ou com o sistema de argola simples;
- O conjunto não pode deixar entrar águas pluviais, nem para o interior da cuba de betão, nem para o contentor metálico;
- A existência algo que impossibilite a grua de danificar o cabeçote (parte visível do contentor figura A.7, pág. 4 dos anexos) ao descarregar o lixo.

Estes requisitos abrangem tanto a configuração dos componentes como o desenho geral das peças.

3.3. Evolução do Conceito do Sistema de Extração

Nas primeiras configurações do sistema de extração desenvolvidas, foi tido em especial atenção a proteção do cabeçote de possíveis impactos com a grua, durante a extração do contentor. Para garantir o cumprimento deste requisito, foi criado um triângulo de proteção fictício que evita que o camião do lixo danifique o cabeçote durante a descarga do lixo. O triângulo de proteção é criado com a extração de um tubo que eleva a argola simples (figuras 3.1 e 3.2). Este requisito apenas se impõe no sistema de argola simples, devido ao facto do sistema *Kinshofer* possuir um componente com cerca de um metro, ficando o triângulo de proteção automaticamente criado (figura 3.17, pág. 78).

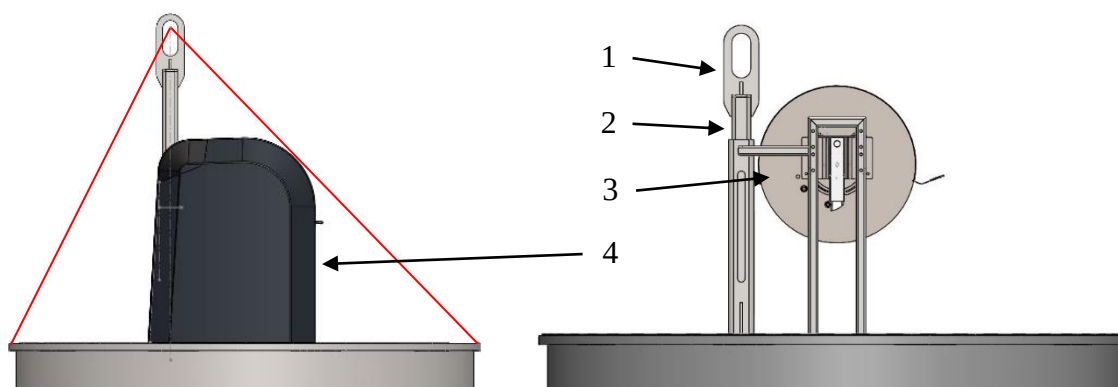


Figura 3.1 - 1ª Configuração do sistema de extração. Linhas a vermelho – Triângulo de proteção fictício; (1) – Argola simples; (2) – Tubo que eleva a argola simples; (3) – Tambor duplo; (4) – Cabeçote

Com a criação da primeira configuração identificou-se um problema. Se o *quick* fosse colocado no centro geométrico não seria possível centrar o tambor, o que implicava que a distribuição do lixo no interior não seria uniforme, levando à descentralização do centro de gravidade, o que levaria à inclinação do contentor durante a extração.

Para resolver este problema, o *quick* foi afastado do centro geométrico e colocou-se nessa posição o tambor (figura 3.1). Esta alteração não beneficiou em nada o comportamento do sistema de extração, bem que pelo contrario. Com esta configuração, o *quick* não fica centrado com o centro de gravidade, nem ao retirar o contentor, nem ao colocá-lo, dificultando a colocação do contentor na cuba e o acionamento dos ganchos da plataforma de segurança.

Todos os problemas referidos anteriormente foram resolvidos com a criação da segunda configuração. Nesta configuração, tanto o tambor como o sistema de extração são colocados no centro geométrico. Tal só é possível devido a inclinação do braço extraível da argola simples (figura 3.2). Esta configuração resolve alguns problemas mas não é viável, devido ao facto de apresentar problemas de resistência estrutural no braço da argola simples. Para suportar as solicitações pretendidas, o braço extraível teria de ter dimensões não suportáveis para o sistema em questão inviabilizando, portanto, o desenho.

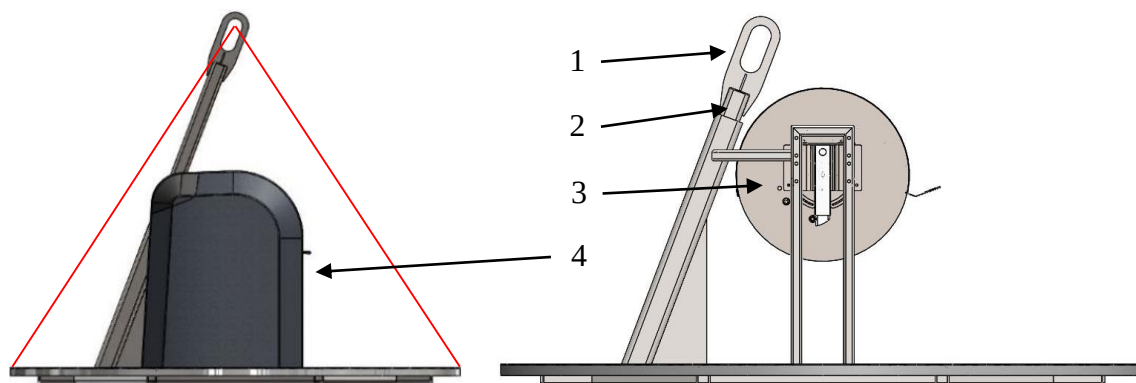


Figura 3.2 - 2ª Configuração do sistema de extração. Linhas a vermelho – Triângulo de proteção fictício; (1) – Argola simples; (2) – Tubo que eleva a argola simples; (3) – Tambor duplo; (4) – Cabeçote

Feita uma avaliação dos problemas, chegou-se à conclusão que é mais importante garantir a verticalidade do contentor durante a colocação na cuba, facilitando assim o acoplamento do contentor com a plataforma de segurança. De forma a se garantir a verticalidade do contentor durante a fase de extração, adicionaram-se roletes nas laterais do contentor metálico.

Afastadas as duas primeiras configurações foi criada a terceira. Nesta configuração o *quick* foi centrado geometricamente, e o tambor deixou de estar centrado (figura 3.3). A terceira configuração obedecia a todos os requisitos impostos até ao momento, chegando mesmo a ser apresentada aos clientes. Durante esta apresentação, a SOPSA adicionou o requisito do sistema de extração ter de permitir inclinações até $\pm 5\%$, ficando a terceira configuração sem efeito.

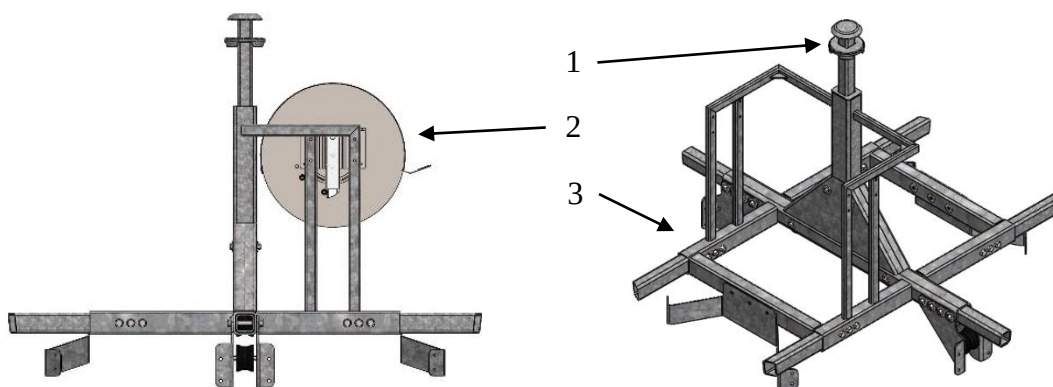


Figura 3.3 - 3ª Configuração do sistema de extração. (1) – Peças em que encaixa o sistema *Kinshofer*; (2) – Tambor duplo; (3) – Estrutura do sistema de extração

Adicionada a imposição do sistema de extração suportar inclinações até $\pm 5\%$, realizou-se um novo *brainstorming*. No *brainstorming* foram discutidas novas soluções para o sistema. A melhor solução encontrada consistia na separação dos vários elementos. O *quick* foi separado da plataforma de solo e foram criados os niveladores da plataforma de solo (figura 3.4).

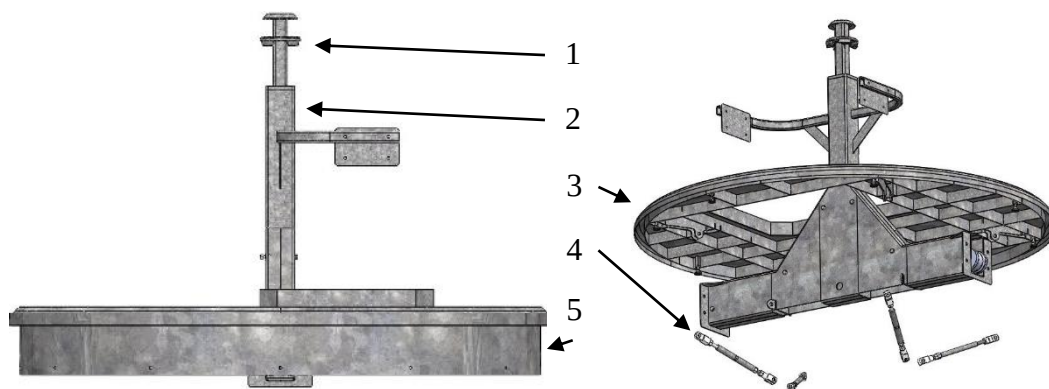


Figura 3.4 - Configuração atual do sistema de extração, de lado e, em vista explodida. (1) – Peças em que encaixa o sistema Kinshofer; (2) – Quick; (3) – Plataforma de solo; (4) – Niveladores da plataforma de solo; (5) – Aro do solo

3.3.1. Montagem e afinação do sistema de extração

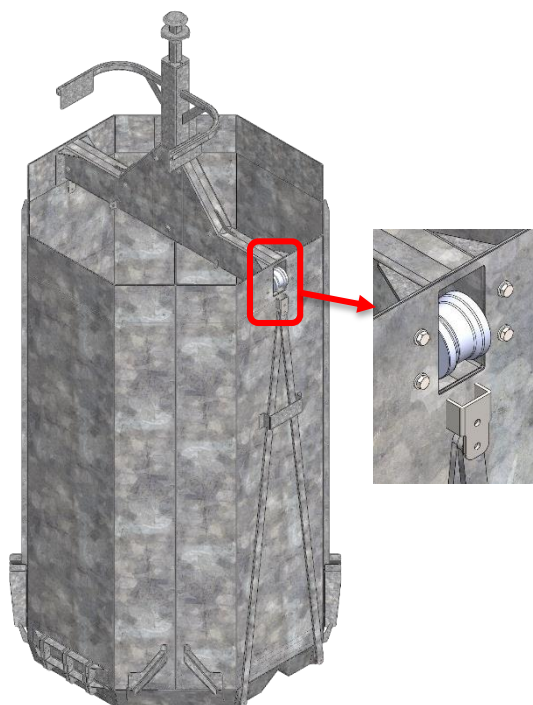


Figura 3.5 - Ligação aparafusada do contentor metálico ao quick

A montagem e afinação dos vários componentes deste sistema de extração é relativamente simples: O *quick* (figura 3.10, pág. 76) é ligado através de parafusos ao contentor metálico, independentemente da inclinação da calçada, estes componentes não se alteram e mantem-se verticais (figura 3.5); Os niveladores da plataforma de solo (figura 3.40, pág. 93) são ligados ao *quick* e à plataforma de solo através de cavilhas permitindo que a ligação seja articulada (figura 3.6). Ao rodar a parte central dos niveladores estes aumentam ou diminuem o seu tamanho, permitindo assim ajustar a inclinação da plataforma de solo. Os pés da plataforma de solo (figura 3.33, pág. 88) tal como os niveladores são ajustados à altura pretendida, até que estejam todos poisados na cuba de betão.

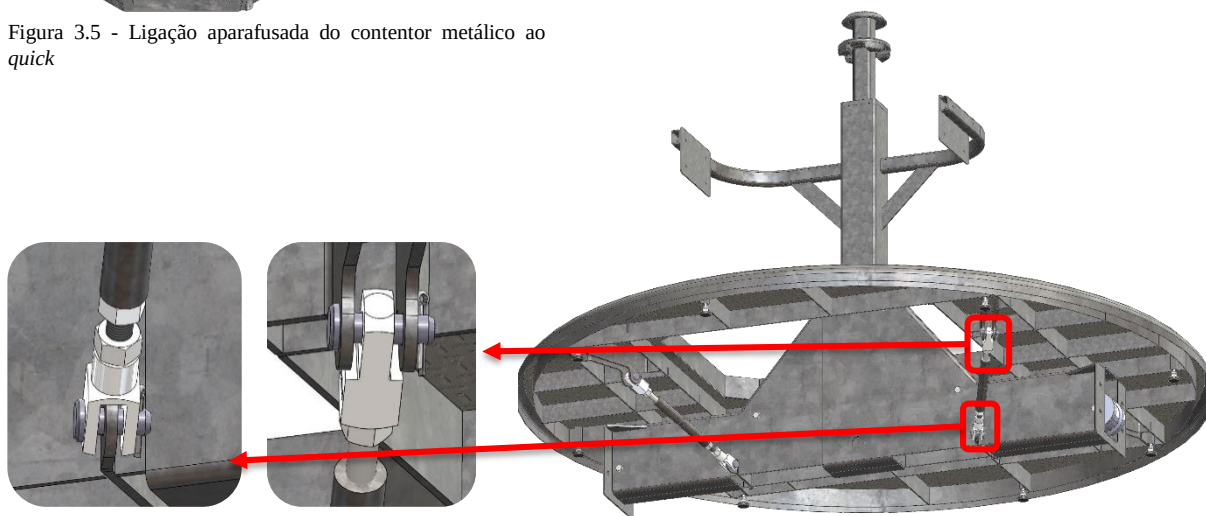


Figura 3.6 - Ligação dos niveladores do aro de solo ao *quick* e à plataforma de solo

Para impedir que as águas pluviais entrem na cuba de betão existe o aro de solo (figura 3.41 e 3.42, pág. 93). Este é aparafusado na cuba de betão com a inclinação que for necessária para garantir a continuidade da calçada da rua. Durante a instalação, a parte mais saliente e baixa do aro de solo irá ficar ao nível da calçada, desta forma, o aro de solo cria uma barreira mais eficaz, impedindo a entrada de águas pluviais. Em solos planos, o conjunto aro de solo e cuba de betão fica com a configuração presente na figura 3.7 e, em solos inclinados pode tomar várias posições, sendo que a posição máxima observa-se na figura 3.8.

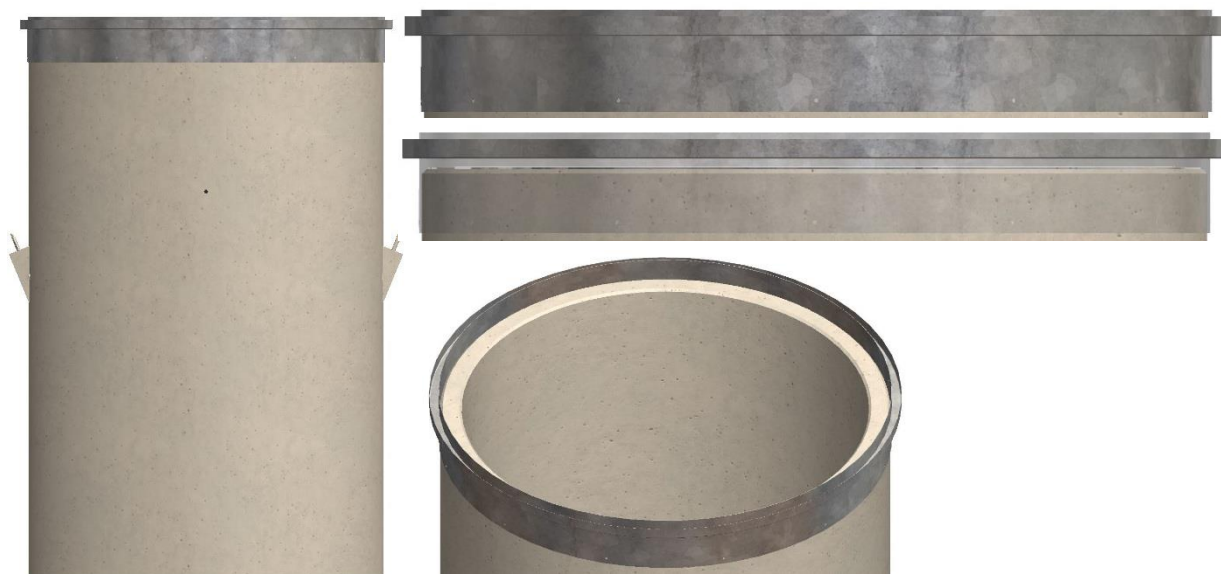


Figura 3.7 - Regulação da cuba de betão e aro de solo para solos planos

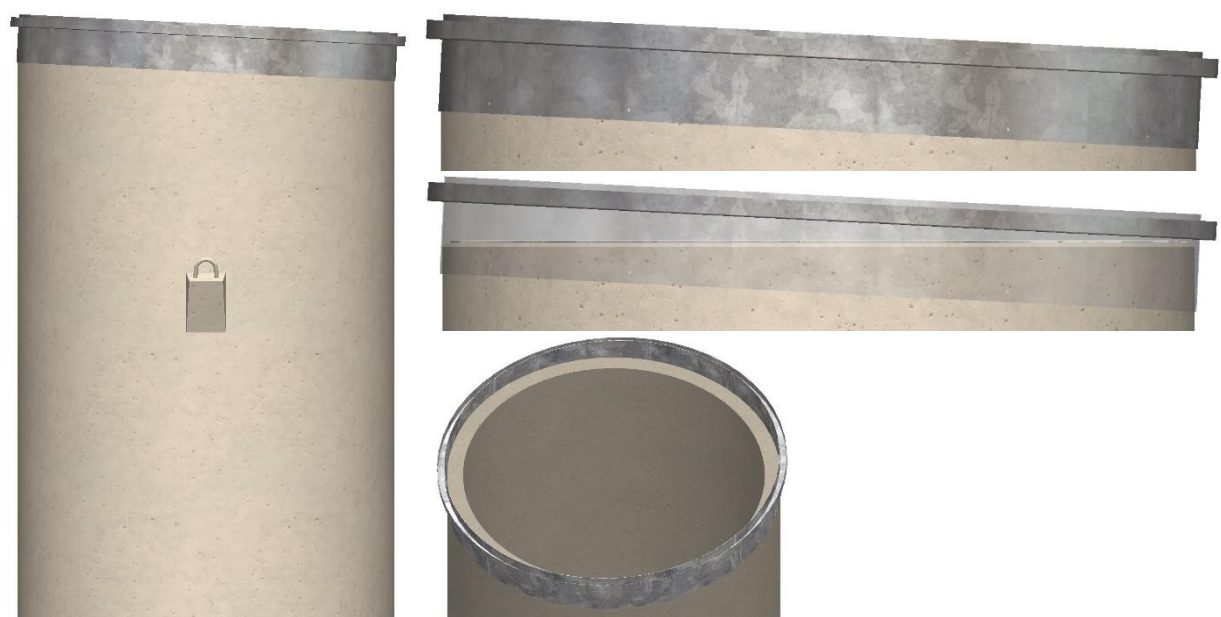


Figura 3.8 - Regulação da cuba de betão e aro de solo para solos com inclinação de 5%

A inclinação do aro de solo pode ser alterada e ajustada facilmente, devido à folga de 10 mm existente entre o diâmetro do aro de solo e do diâmetro máximo da cuba de betão. Esta folga foi estudada em modelo 2D (figura 3.9) e analisada em modelo 3D. A folga é a menor possível de forma a diminuir o empenamento que o aro de solo irá sofrer nas áreas em que forem aparafusados os parafusos, e também para diminuir o material de isolamento que será necessário introduzir nesta folga.

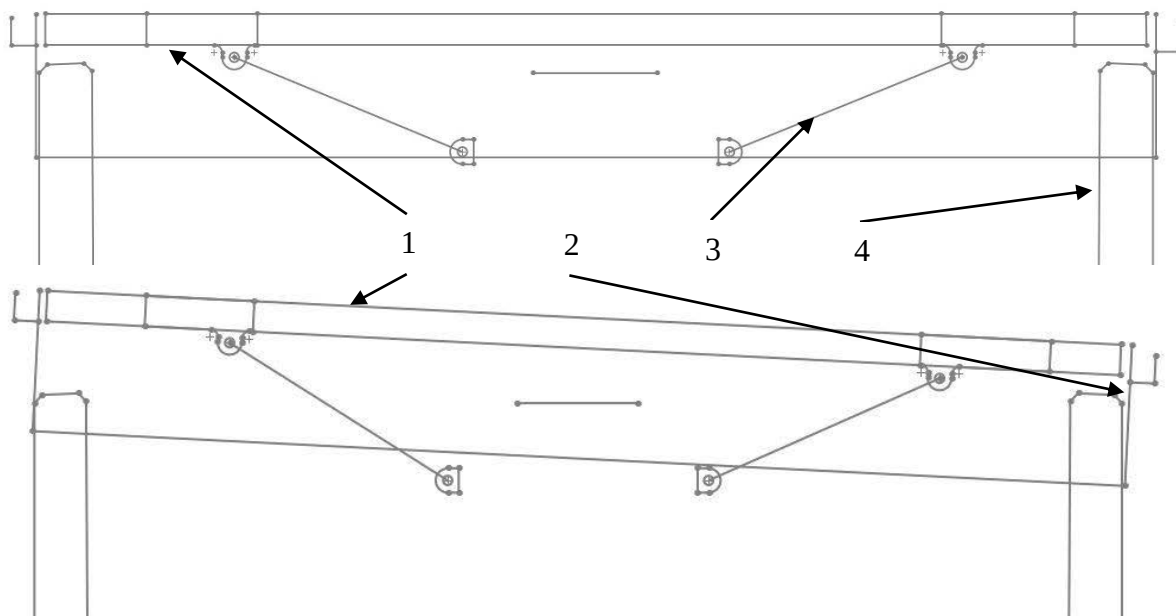


Figura 3.9 - Estudo da inclinação do aro de solo e plataforma de solo. (1) – Plataforma de solo; (2) – Aro de solo; (3) – Niveladores da plataforma de solo; (4) – Cubra de betão

3.4. Quick

Tem este nome devido a ser a designação usada para os componentes que têm as mesmas funções e configurações semelhantes em modelos existentes. Este componente é a peça central do sistema de extração, todos os componentes estão ligados de forma direta ou indireta ao *quick*.

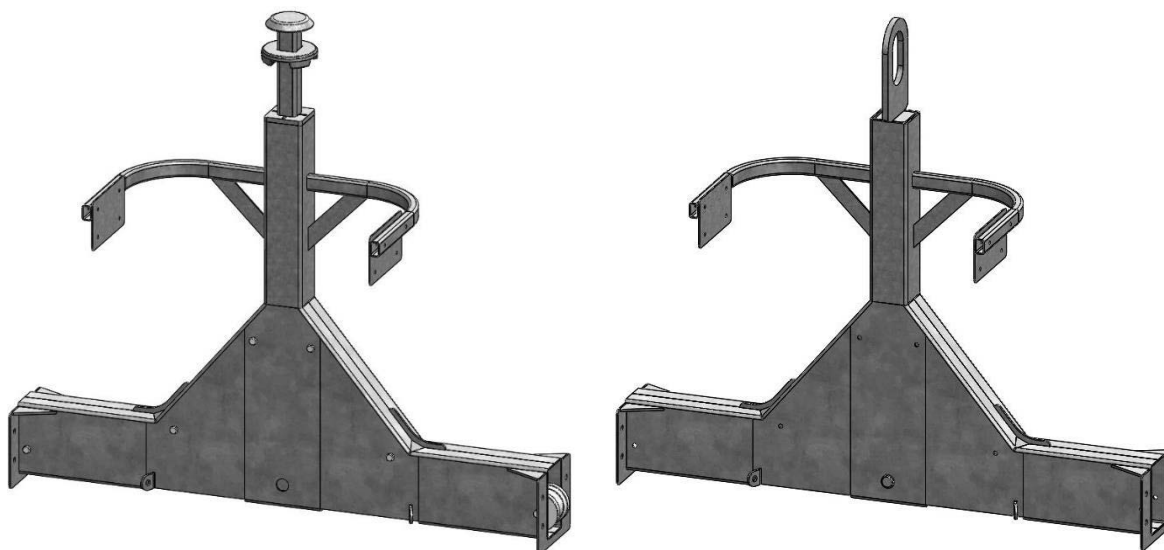


Figura 3.10 - Quick para sistema de elevação Kinshofer e sistema de argola simples, respetivamente

Durante a operação de recolha de lixo a grua irá puxar este componente para extrair o contentor e descarregar o lixo. Devido a este facto, terá de ter uma resistência mecânica bastante elevada. Este componente foi desenvolvido tendo em consideração dois tipos de sistemas de elevação do contentor, o sistema *Kinshofer* e o sistema de argola simples (figura 3.10).

3.4.1. Apresentação das peças constituintes

Devido a ter sido desenvolvido para poder trabalhar com um, de dois sistemas de elevação, apenas algumas peças se alteram quando se altera o tipo de *quick*. As peças que se mantêm inalteráveis independentemente do tipo de *quick* são as presentes na figura 3.11.

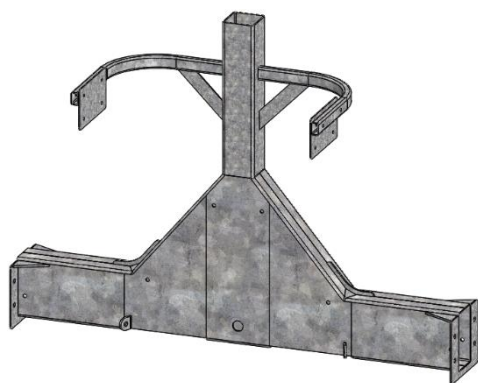


Figura 3.11 - Peças inalteráveis do *quick*

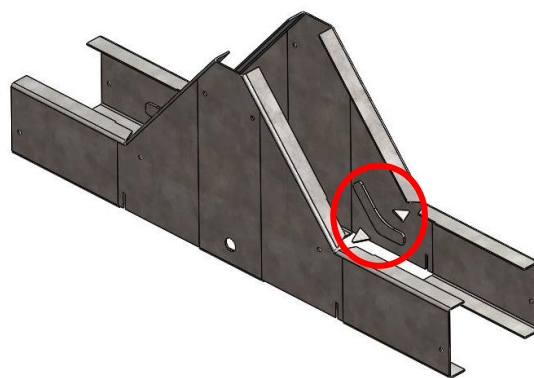


Figura 3.12 - Peças centrais do *quick*. Círculo vermelho – reforços da zona de concentração de tensões

A parte central do *quick* é constituída por duas chapas de 4 mm quinadas e soldadas com reforços nas zonas de maior concentração de tensões (figura 3.12). A ligação da parte central do *quick* aos braços que suportam o tambor (figura 3.13) é feita com um tubo (figura 3.14). As chapas que permitem a ligação aparafusada entre o *quick* e o contentor são também soldadas à parte central do *quick* (figura 3.15). A ligação dos niveladores da plataforma de solo ao *quick* é feita por intermedio de chapas quinadas que são soldadas à parte central do *quick* (figura 3.16).



Figura 3.13 - Braço de suporte do tambor



Figura 3.14 - Tubo quadrado



Figura 3.15 - Chapa para fixação do contentor



Figura 3.16 - Ligação do *quick* aos niveladores

O sistema *Kinshofer* funciona da seguinte maneira, a grua do camião do lixo (figura 3.17) acopla-se ao cogumelo do sistema de extração (figura 3.18) e agarra o componente circular que se encontra a meio da figura 3.18, de seguida puxa o componente em forma de cogumelo que se encontra na parte de cima da mesma figura (este componente liga-se por intermedio de correntes e peças metálicas às portas do contentor). Para fazer a descarga do lixo, o camião coloca uma pré-carga no componente em forma de cogumelo, garantindo que as portas do contentor não se abrem durante o levantamento do mesmo. Seguidamente, retira-se o contentor da

cuba e coloca-se sobre o caminhão, depois retira-se a pré-carga do componente em forma de cogumelo e as portas abrem despejando o lixo. Volta-se a puxar o componente em forma de cogumelo para fechar as portas do contentor e coloca-se na cuba, o que faz com que o processo de despejo do lixo esteja concluído.

Os elementos do sistema de elevação *Kinshofer* seguem um desenho específico e normas próprias do fabricante, para adaptar estes elementos ao *quick* foram criadas as peças assinaladas com um retângulo vermelho na figura 3.18.



Figura 3.17 - Camião de recolha para contentores com sistema *Kinshofer* e o componente do sistema

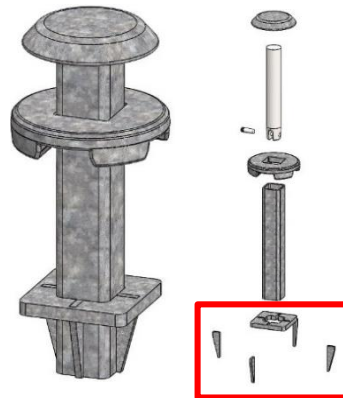


Figura 3.18 - Cogumelo do sistema *Kinshofer*. Retângulo vermelho – peças de adaptação ao *quick*

Os elementos responsáveis pela transição interna do movimento de fecho das portas do contentor metálico, desde a grua até ao contentor metálico, são:

- O componente em forma de cogumelo;
- Um varão maquinado;
- Três correntes (figura 3.20).

A guiar as correntes encontram-se dois tipos de roldanas (figura 3.19), duas maiores e quatro pequenas. As roldanas são feitas em POM, com um tubo no interior, onde irá passar o parafuso que será o eixo destas. Os tubos são freados nas pontas para garantir que as roldanas não saem da posição ótima de funcionamento.

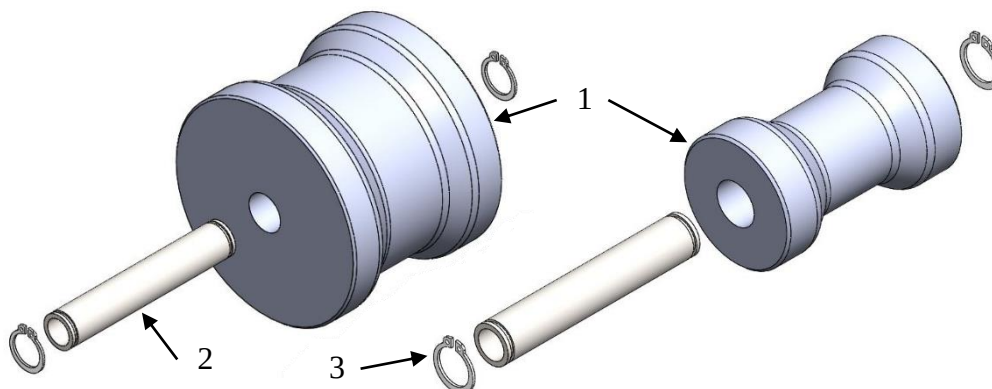


Figura 3.19 - Roldanas guias da corrente. (1) – Roldanas; (2) – Tubo freado; (3) – Freio

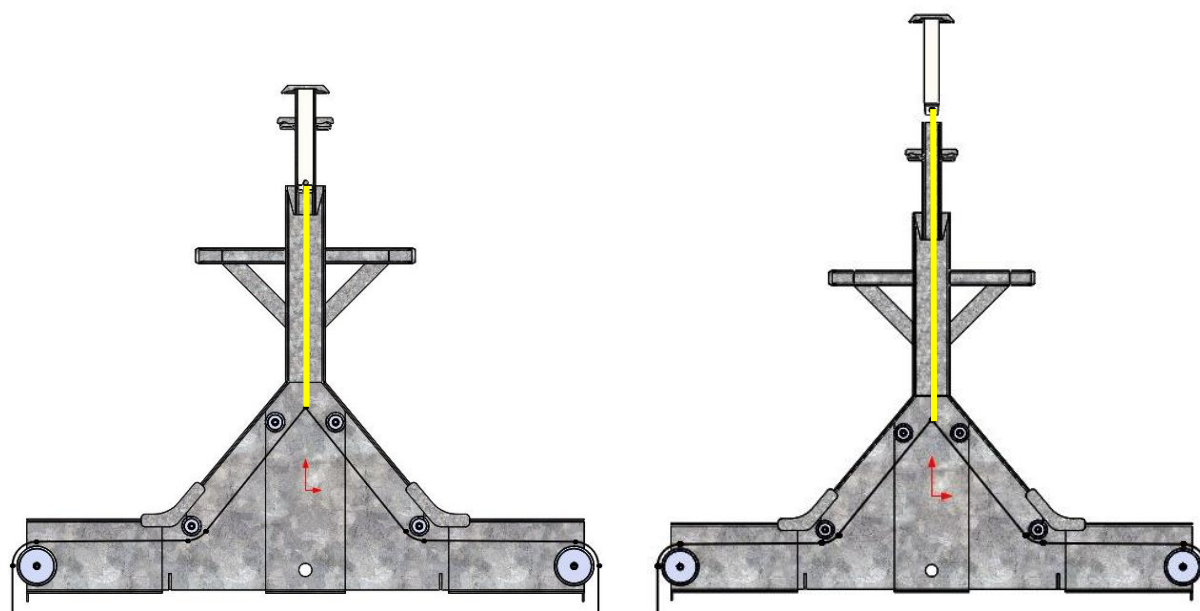


Figura 3.20 - *Quick* visto em corte, à esquerda *quick* não atuado (portas do contentor metálico abertas), à direita *quick* atuado (portas do contentor metálico fechadas) e esquema de guiamento das correntes. Linhas pretas – correntes responsáveis pela transmissão do movimento; Linha amarela – corrente de calibre maior que as do traçado a preto, mas com a mesma função

O sistema de argola simples é um sistema bastante básico, apenas precisa de uma argola soldada à estrutura para poder funcionar. No entanto, como um dos requisitos prevê a proteção do cabeçote de possíveis embates na sua utilização, foi criada uma haste extraível. A altura máxima alcançada pela haste extraível é garantida pelo tamanho da corrente que trabalha no interior do *quick* (figura 3.21). Os componentes que formam a haste extraível são (figura 3.22):

- Um tubo, com três cortes que facilitam a montagem e a soldadura dos vários componentes, e além disso oferecem mais resistência ao sistema;
- Cinco chapas de aço cortadas a laser, uma com a configuração de uma argola, duas que permitem a ligação da haste à corrente e outras duas sem qualquer função relevante.

A ligação da corrente ao *quick* é feita com um elo de engate ómega que se liga a uma cavilha. Este encaixa num furo existente na chapa central do *quick*, como representado na figura 3.23.

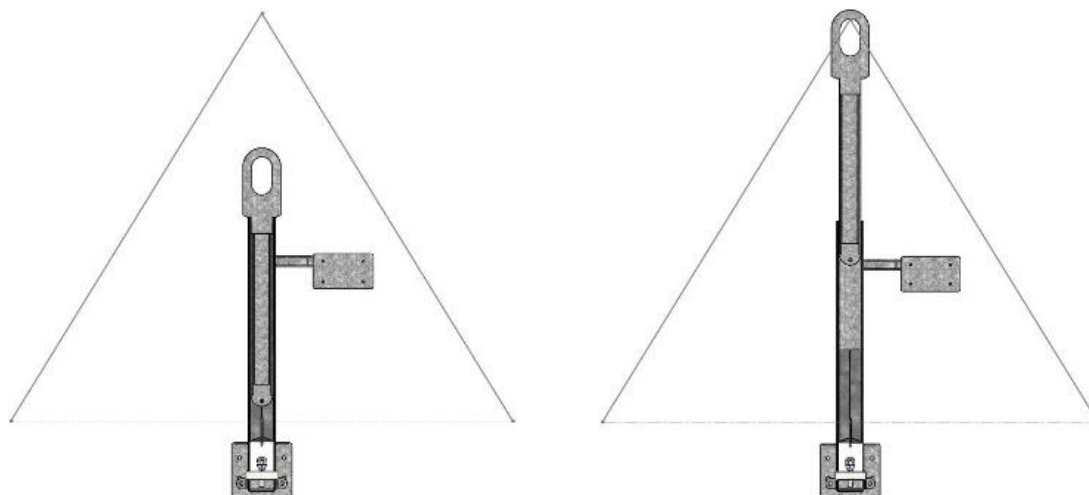


Figura 3.21 - Triângulo de proteção criado pela extração da haste do sistema de argola simples, imagem à esquerda haste recolhida, imagem a direita haste esticada na posição máxima

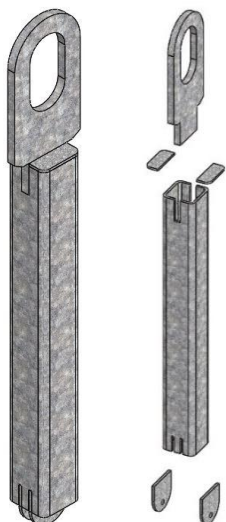


Figura 3.22 - Parte extraível do sistema de argola simples

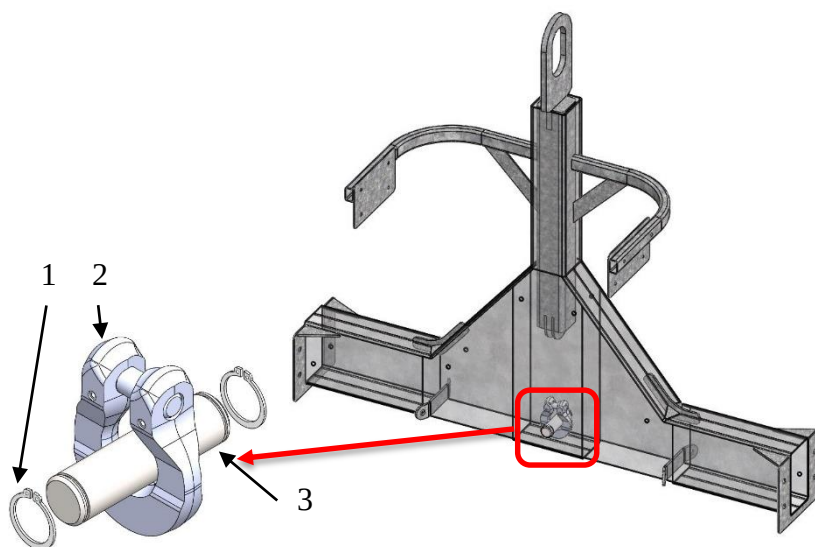


Figura 3.23 - Ligação da corrente ao *quick*. (1) – Freio; (2) – Elo de engate omega (3) – Cavilha

3.4.2. Ensaios de resistência estrutural

Tal como referido anteriormente, é no *quick* que irá estar a maior solicitação mecânica. É neste componente que a grua se irá acoplar para fazer a elevação de todos os componentes móveis do *Blue Cee*. É também neste componente que se foca um dos ensaios mais rígidos da norma seguida neste trabalho.

Segundo a norma (EN13071-1, 2008), mais especificamente o Ponto 6.3.3 (*Mechanical resistance of the lifting components*), o contentor deve ser submetido a um teste que se divide em duas fases. Na primeira fase, o contentor é carregado com uma massa igual a:

$$TL_3 = V_n * \rho * 2,5 \quad (18)$$

onde TL_3 é a massa de teste da primeira fase, V_n a capacidade volumétrica do contentor metálico e ρ a densidade padrão do lixo.

A massa é colocada no interior do contentor a uma velocidade inferior a 100 kg/s e o período do teste será de 5^{+1}_0 min .

No final da primeira fase, não é permitido qualquer empenamento permanente, deformação permanente, ou o início de rutura.

A segunda fase também terá o mesmo período de teste e a mesma velocidade de carregamento, mas a solicitação será superior, sendo dada pela expressão:

$$TL_4 = V_n * \rho * 3,5 \quad (19)$$

onde TL_4 é a massa de teste da segunda fase.

No final da segunda fase, são permitidas deformações/empenamentos permanentes, mesmo que significativos, não incluindo a rotura ou fratura do mecanismo de elevação “*quick*”.

Tendo como base o ensaio descrito, foi realizado o estudo numérico.

O ensaio de resistência estrutural do *quick* divide-se em três ensaios, devido ao facto do ponto de aplicação do esforço ser diferente no sistema *Kinshofer* e no sistema de argola simples. No *quick* com sistema de argola simples foi realizado o ensaio na haste extraível e na estrutura do *quick*, sendo que no *quick* com sistema *Kinshofer*, o ensaio realizado incidiu apenas na estrutura do *quick*.

De forma a facilitar os cálculos todos os elementos móveis não estruturais foram suprimidos. O estudo de convergência de malha foi realizado no *quick* com sistema *Kinshofer* e na haste extraível do *quick* com sistema de argola simples. Considerou-se que a malha obtida após o estudo de convergência do *quick* com sistema *Kinshofer* é igual à do *quick* com o sistema de argola simples. Em todos os estudos realizados apenas foram usados elementos casca e sólidos. Todos os contactos entre elementos soldados foram considerados ligados (*Bonded*). Esta consideração reduziu a complexidade do cálculo e diminuiu a necessidade de recursos computacionais.

3.4.3. Cálculo da força a aplicar ao *quick*

O esforço que foi tido em consideração para o dimensionamento da resistência estrutural necessária ao *quick* foi a estimada através da norma, recorrendo a expressão matemática (19). Obteve-se:

$$V_n = 4 \text{ m}^3$$

$$\rho = 400 \text{ kg/m}^3$$

$$TL_4 = V_n * \rho * 3,5$$

$$TL_4 = 4 * 400 * 3,5 = 5600 \text{ kg}$$

$$TL_4 = 5600 * g$$

sendo g a força gravitacional.

$$TL_4 = 5600 * 9,81 = 54936 \text{ N}$$

3.4.3.1. Ensaio do *quick* com sistema *Kinshofer*

No teste de normalização, a solicitação é aplicada na peça em que a grua se acopla ao *quick*. Como a referida peça é complexa, foi suprimida, passando a solicitação a ser aplicada no local em que esta é soldada ao tubo. Para localizar a força foram feitos cortes com a ferramenta *split line*.

As fixações foram aplicadas na ligação do *quick* ao contentor metálico de duas formas (figura 3.24), nos furos foi aplicada a fixação *fixed geometry* e na face da chapa foi aplicada a fixação *roller sliding*.

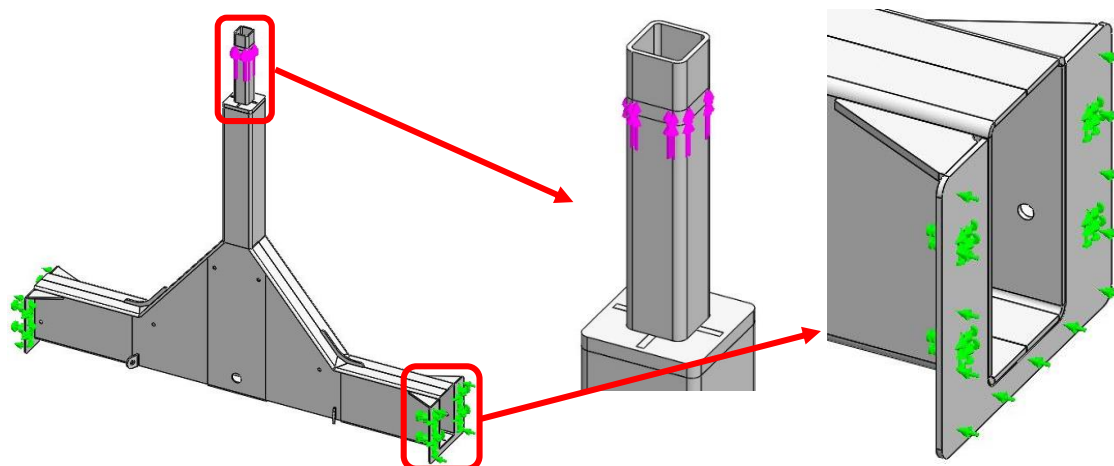


Figura 3.24 - Fixações e esforços considerados no cálculo. Setas verdes – Bloqueio dos vetores deslocamento representados (todos); Setas roxas – Localização e direção da força

3.4.3.1.1. Estudo de convergência de malha do *quick*

Na realização deste estudo foram testadas duas malhas, com o intuito de analisar o comportamento deste componente, nomeadamente uma malha padrão de alta qualidade (tabela 13 e gráfico 3.1) e uma malha baseada em elementos curvos de alta qualidade (tabela 14 e gráfico 3.2). Em ambas as malhas foram usados elementos mistos, nomeadamente, todas as chapas são calculadas com elementos casca, e todos os tubos são calculados com elementos sólidos.

Tabela 13 - Estudo de convergência de malha

<i>Standard mesh_mesh high quality</i>			
Malha [mm]	Elementos Totais	Tensão [MPa]	Deslocamento [mm]
40	4076	220,094	0,566
30	5475	192,030	0,570
20	9084	192,365	0,566
17	11476	189,763	0,576
15	14369	306,394	0,571
12	21094	295,216	0,571
10	29071	302,274	0,573

Gráfico 3.1 - Estudo de convergência de malha

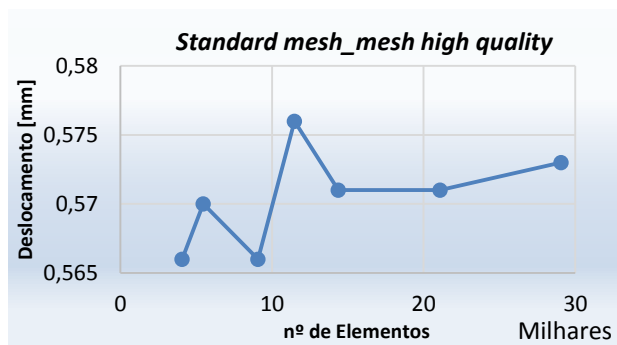
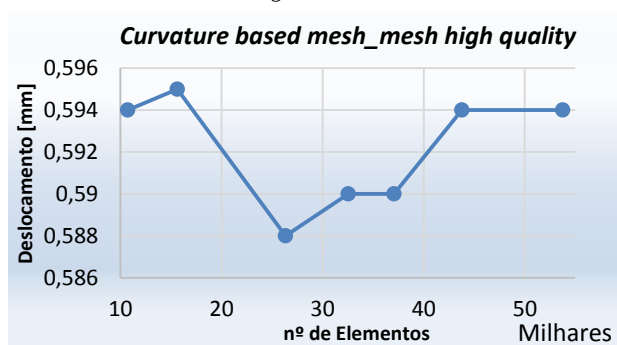


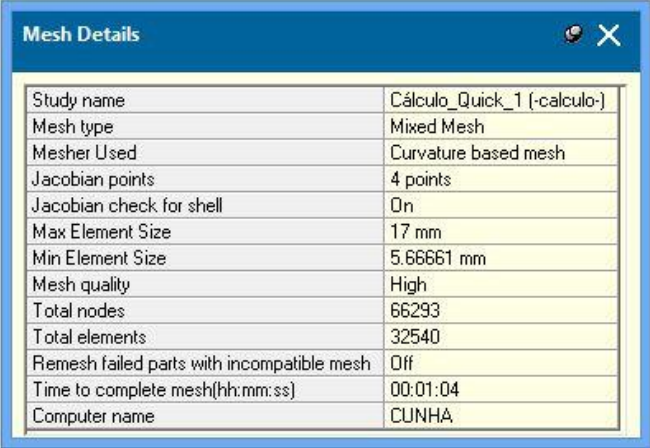
Tabela 14 - Estudo de convergência de malha

<i>Curvature based mesh_mesh high quality</i>			
Malha [mm]	Elementos Totais	Tensão [MPa]	Deslocamento [mm]
40	10730	212,466	0,594
30	15622	235,710	0,595
20	26329	263,012	0,588
17	32540	267,508	0,590
15	37083	303,301	0,590
12	43772	318,076	0,594
10	53753	320,118	0,594

Gráfico 3.2 - Estudo de convergência de malha



Com base nos resultados apresentados na tabela 14, considerou-se que a malha baseada em elementos curvos de alta qualidade convergiu para elementos com 17 mm de espessura. Os detalhes da malha e o aspeto da mesma encontram-se nas figuras 3.25 e A.56 (pág. 31 dos anexos), respetivamente.



Study name	Cálculo_Quick_1 (-calculo-)
Mesh type	Mixed Mesh
Mesher Used	Curvature based mesh
Jacobian points	4 points
Jacobian check for shell	On
Max Element Size	17 mm
Min Element Size	5.66661 mm
Mesh quality	High
Total nodes	66293
Total elements	32540
Remesh failed parts with incompatible mesh	Off
Time to complete mesh(hh:mm:ss)	00:01:04
Computer name	CUNHA

Figura 3.25 - Detalhes da malha

Os principais resultados obtidos foram os seguintes:

- Deslocamento máximo 0,59 mm (figura A.57, pág.31 dos anexos);
- Tensão de *von Mises* máxima 267,508 MPa (figuras A.58 e A.60, pág. 32 e 33 dos anexos, respetivamente);
- Fator de segurança mínimo 1,03 (figura A.59, pág. 32 dos anexos).

Avaliando todos os *plots*, é possível verificar que as zonas com tensões mais elevadas são as de concentração de tensões, toda a restante estrutura encontra-se com tensões mais reduzidas. É necessário ter ainda em atenção que as zonas de concentração de tensões serão soldadas com um cordão de solda bastante espesso que trará mais resistência à estrutura.

3.4.3.2. Ensaio do *quick* com sistema de argola simples

Neste ensaio o *quick* é fixo nos mesmos sítios e da mesma forma que no ensaio anterior. A solicitação é aplicada no furo assinalado na figura 3.26. Todas as considerações de ligações entre peças referidas no estudo anterior são válidas para este estudo.

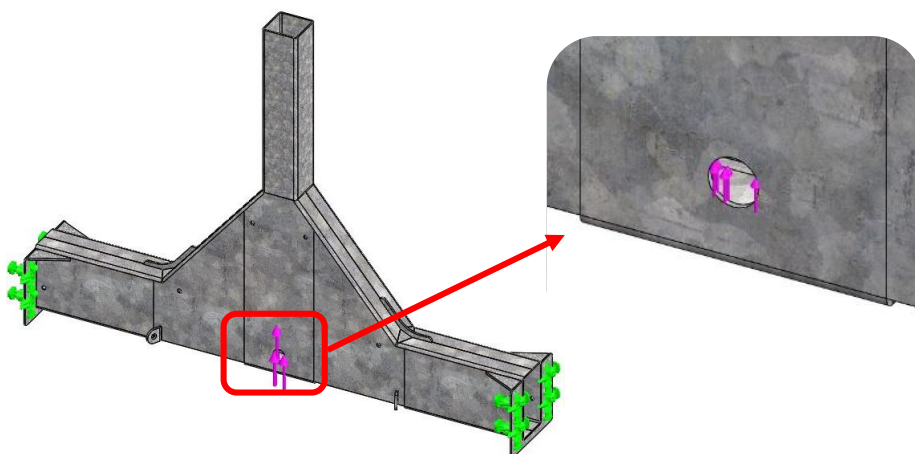


Figura 3.26 - Fixações e esforços considerados no cálculo. Setas verdes – Bloqueio dos vetores deslocamento representado (todos); Setas roxas – Localização e direção da força

A malha usada é a mesma do estudo anterior, isto é, uma malha baseada em elementos curvos de alta qualidade com elementos de 17 mm de espessura. Os detalhes desta malha e o aspeto da mesma poderão ser vistos nas figuras 3.27 e A.61 (pág. 34 dos anexos), respetivamente.

Mesh Details	
Study name	Cálculo_Quick_2 (-calculo-)
Mesh type	Mixed Mesh
Mesher Used	Curvature based mesh
Jacobian points	4 points
Jacobian check for shell	On
Max Element Size	17 mm
Min Element Size	5.66661 mm
Mesh quality	High
Total nodes	49862
Total elements	24383
Remesh failed parts with incompatible mesh	Off
Time to complete mesh(hh:mm:ss)	00:00:54
Computer name	CUNHA

Figura 3.27 - Detalhes da malha

Os principais resultados obtidos foram os seguintes:

- Deslocamento máximo 0,389 mm (figura A.62, pág. 34 dos anexos);
- Tensão de *von Mises* máxima 262,113 MPa (figuras A.63 e A.64, pág. 35 dos anexos);
- Fator de segurança mínimo 1,05 (figuras A.65 e A.66, pág. 36 dos anexos).

Avaliando todos os *plots* referentes a esta estrutura, é possível verificar que a alteração da localização do esforço na estrutura altera os esforços gerais mas, não altera a localização de tensões mais elevadas, mantendo-se idênticas as do estudo anterior.

3.4.3.3. Ensaio da haste extraível do quick com o sistema de argola simples

Neste estudo a força é aplicada na chapa com forma de argola. A fixação (*fixed geometry*) é aplicada nos furos em que será colocada a cavilha que irá unir a corrente à haste extraível (figura 3.28).

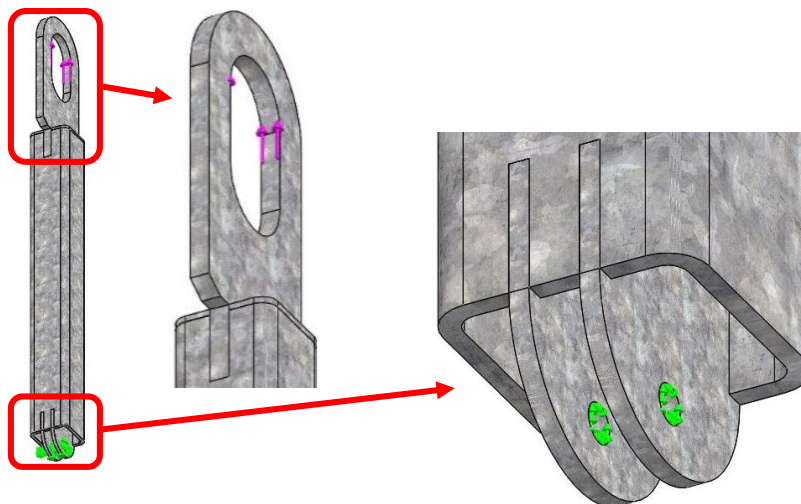


Figura 3.28 - Fixações e esforços considerados no cálculo. Setas verdes – Bloqueio dos vetores deslocamento representados (todos); Setas roxas – Localização e direção da força

3.4.3.3.1. Estudo de convergência de malha da haste extraível

Na realização deste estudo foram testadas duas malhas, com o intuito de analisar o comportamento deste componente, nomeadamente uma malha padrão de alta qualidade (tabela 15 e gráfico 3.3) e uma malha baseada em elementos curvos de alta qualidade (tabela 16 e gráfico 3.4). Em ambas as malhas foram usados elementos mistos, nomeadamente, todas as chapas são calculadas com elementos casca e o tubo é calculado com elementos sólidos.

Tabela 15 - Estudo de convergência de malha

<i>Standard mesh_mesh high quality</i>			
Malha [mm]	Elementos Totais	Tensão [MPa]	Deslocamento [mm]
20	3612	161,205	0,243
15	5955	173,516	0,246
10	11338	182,886	0,248
9	14801	254,225	0,248
8	23152	205,378	0,249
7	31409	211,019	0,249
6,3	53229	257,053	0,249
6	48014	200,491	0,249

Gráfico 3.3 - Estudo de convergência de malha

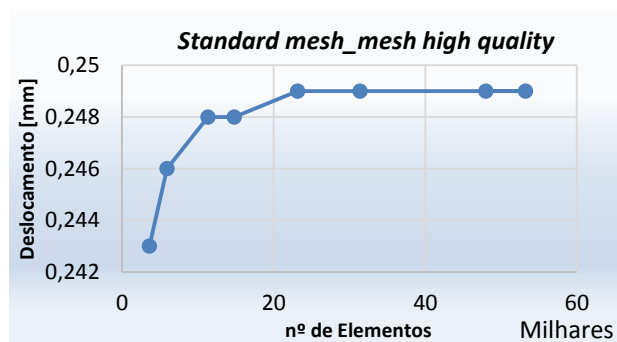
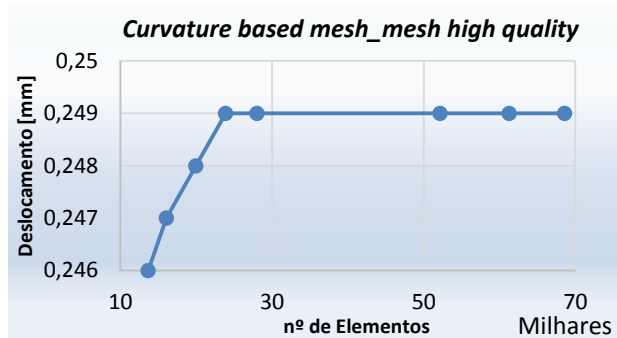


Tabela 16 - Estudo de convergência de malha

<i>Curvature based mesh_mesh high quality</i>			
Malha [mm]	Elementos Totais	Tensão [MPa]	Deslocamento [mm]
20	13668	163,138	0,246
15	16068	168,970	0,247
10	19976	194,984	0,248
9	23899	189,372	0,249
8	28035	196,204	0,249
7	52168	194,579	0,249
6,3	61282	207,788	0,249
6	68609	207,981	0,249

Gráfico 3.4 - Estudo de convergência de malha



Com base nos resultados apresentados na tabela 16, considerou-se que a malha baseada em elementos curvos de alta qualidade convergiu para elementos com 6,3 mm de espessura. Os detalhes da malha convergida e aspeto da mesma podem ser vistos nas figuras 3.29 e 3.30 respectivamente.

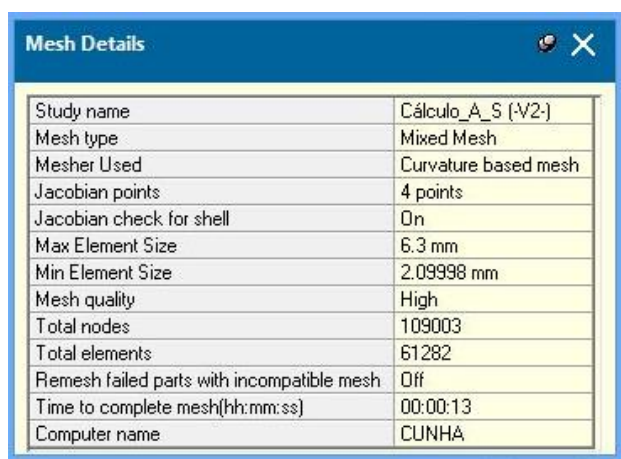


Figura 3.29 - Detalhes da malha

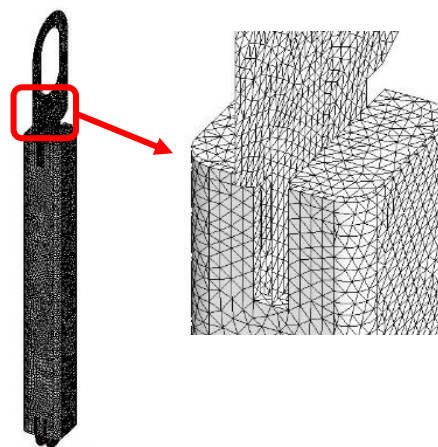


Figura 3.30 - Aspeto da malha convergida

Os principais resultados obtidos foram os seguintes:

- Deslocamento máximo, 0,249 mm (figura A.67, pág. 37 dos anexos);
- Tensão de *von Mises* máxima, 207,788 MPa (figuras A.68 e A.69, pág. 37 dos anexos);
- Fator de segurança mínimo, 1,32 (figuras A.70 e A.71, pág. 38 dos anexos).

Considerando o facto de alguns nós apresentarem tensões que não correspondem a realidade envolvente, e avaliando os vários *plots*, é possível afirmar que a haste extraível do *quick* está sobredimensionada. Esta conclusão é possível de tomar, tendo em consideração que a força do ensaio já contempla um coeficiente de segurança com o valor de 3,5, e para este valor, a norma permite inclusive que as peças sofram deformações significativas durante o ensaio, apenas não deveram atingir a rutura. A haste extraível para além de aguentar a solicitação imposta pela norma ainda contempla um coeficiente de segurança, em que no nó que tem a tenção maior tem o valor de 1,32. Dito isto, a haste extraível poderá ser redimensionada.

3.5. Plataforma de Solo

A configuração da plataforma de solo isolada do *quick*, só foi incorporada nesta versão, depois de adicionado o requisito mínimo da inclinação de $\pm 5\%$.

Esta plataforma de solo não sofreu alterações significativas desde a ideia inicial até à versão atual, houve apenas adaptações da malha da estrutura de forma a resistir melhor as solicitações de teste no *SolidWorks*.

3.5.1. Apresentação das peças constituintes

A plataforma de solo é constituída por uma estrutura metálica (que lhe confere resistência estrutural) e pela estrutura pedonal.

A estrutura metálica é constituída por uma malha de chapas ao cutelo soldadas entre si. Estas chapas têm ranhuras que facilitam a montagem da estrutura. Às chapas são soldados oito pequenos blocos de metal. Nestes pequenos blocos aparafusam os pés da plataforma de solo. Os niveladores da plataforma de solo são ligados à estrutura em chapas específicas mais espesas que as restantes (figura 3.31).

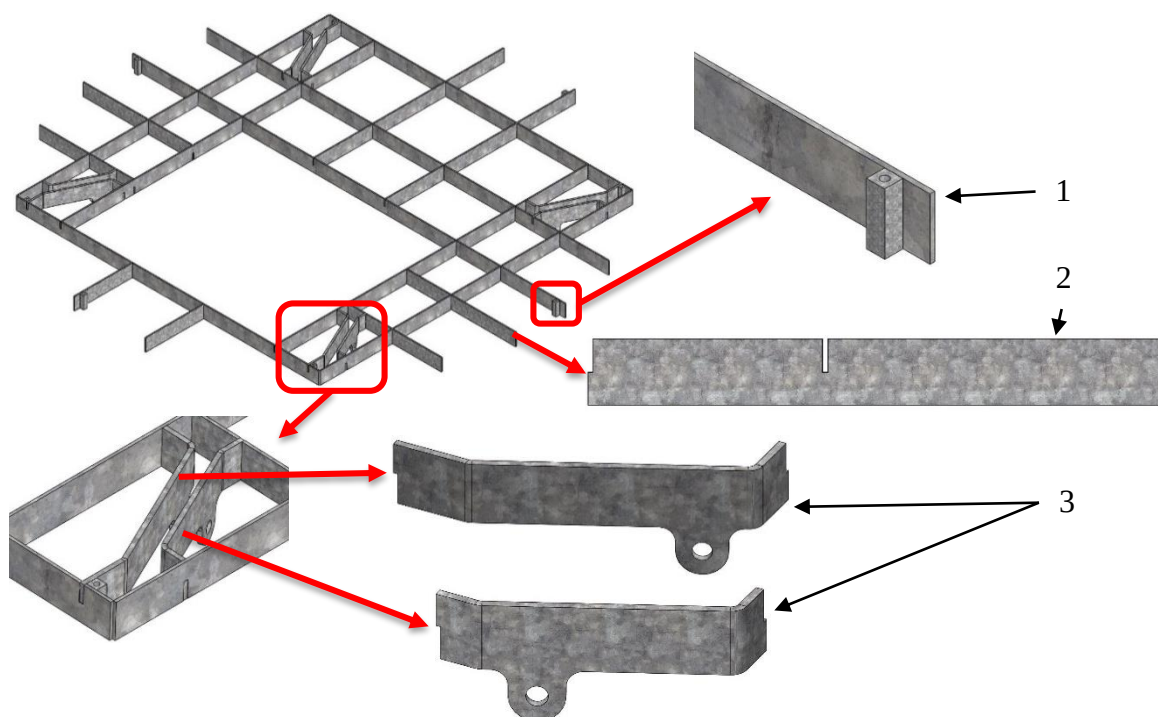


Figura 3.31 - Estrutura da plataforma de solo. (1) – Pormenor dos pequenos blocos de metal em que se aparafusam os pés da plataforma de solo; (2) – Chapa com ranhuras para facilitar a montagem e solda; (3) – Chapas em que ligam os niveladores da plataforma de solo

Uma chapa calandrada envolve circularmente a estrutura da plataforma de solo (figura 3.32). Os pés da plataforma de solo (figura 3.33) permitem a distribuição das forças oriundas do trânsito pedonal para a cuba de betão, evitando que os esforços provocados sejam transmitidos para o *quick* e para o aro de solo.

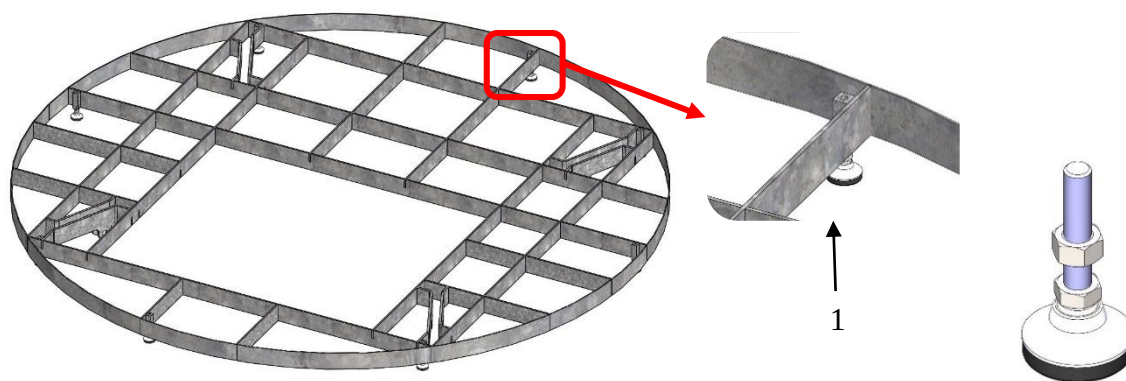


Figura 3.32 - Estrutura da plataforma de solo. (1) – Pormenor da montagem dos pés da plataforma de solo na mesma

Figura 3.33 - Pé da Plataforma de Solo

A estrutura pedonal da plataforma de solo é constituída pela montagem de três chapas (figura 3.34), a chapa que dá continuidade ao solo, a chapa que forma uma pequena rampa e a chapa que fica no interior do cabeçote.

A chapa que dá continuidade ao solo é recalcada (figura 3.35) tornando-se antiderrapante. A chapa que forma uma pequena rampa é calandrada, esta esconde a forma saliente de uma das abas do aro de solo, evitando um degrau entre a calçada e a plataforma de solo. Além disso, ajuda também o aro de solo a evitar que as águas pluviais entrem dentro da cuba de betão (figura 3.36); A chapa que fica no interior do cabeçote impede que as águas pluviais entrem dentro do contentor metálico oferecendo um isolamento de 60 mm de altura para a água, independentemente da inclinação que tiver o aro de solo (figura A.72 e A.73, pág. 39 e 40 dos anexos).

Todas as chapas são cortadas com a tecnologia de corte por laser. A chapa que fica no interior do cabeçote é, ainda, quinada e a chapa que forma uma pequena rampa é calandrada.

A plataforma de solo depois de montada e soldada fica com o aspeto presente na figura A.74, pág. 40 dos anexos.

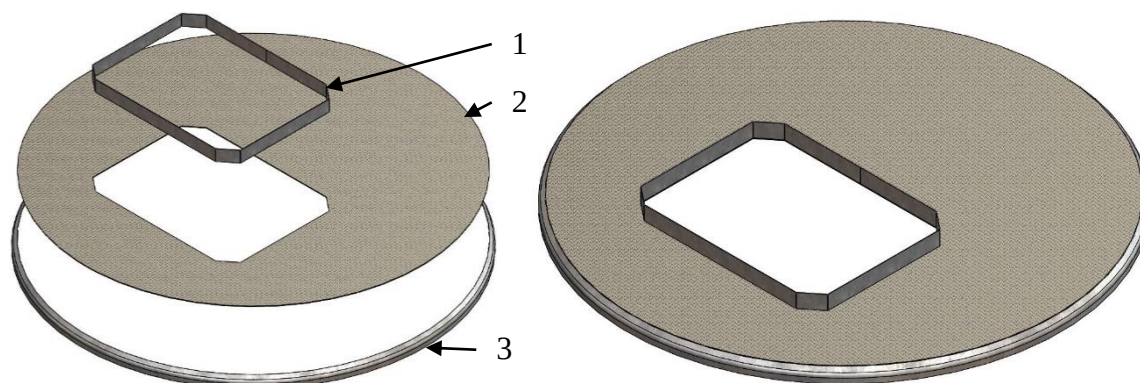


Figura 3.34 - Estrutura pedonal da plataforma de solo. (1) – Chapa que fica no interior do cabeçote; (2) – Chapa que dá continuidade ao solo; (3) – Chapa que forma uma pequena rampa

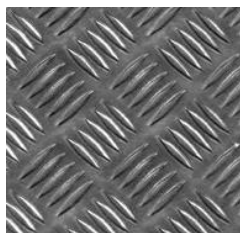


Figura 3.35 - Exemplo de uma chapa recalcada



Figura 3.36 - Encaixe da plataforma de solo no aro de solo

3.5.2. Ensaio de resistência estrutural

Segundo a norma (EN13071-2, 2008), a plataforma de solo deverá resistir a sobrecargas inesperadas causadas por veículos ou outros objetos pesados. A norma prevê que este ensaio seja realizado com uma massa de 500 kg aplicada na vertical por um disco de 200 mm de diâmetro. O método de ensaio dita que esta massa deve ser no mínimo aplicada em oito sítios diferentes da plataforma de solo, sendo que estes deverão corresponder aos locais mais vulneráveis à resistência da mesma. A duração mínima do ensaio deve ser de 10 min, em cada um dos oito pontos. Após realizado do ensaio, a plataforma de solo não deverá apresentar deformação permanente ou zonas com sinais de rotura que impeçam o normal funcionamento da mesma.

3.5.2.1. Dimensionamento da plataforma de solo

Para o dimensionamento da plataforma de solo, foram realizados oito estudos que consideram diferentes locais de aplicação da solicitação. Para cada caso, observou-se o comportamento da estrutura em função do local de aplicação do esforço.

Dos oito estudos realizados apenas é apresentado o resultado do estudo que foi utilizado para fazer a convergência de malha, sendo que os outros poderão ser consultados desde a pág. 44 à pág. 57 dos anexos.

No estudo de convergência de malha o esforço foi aplicado no local representado na figura A.75 (pág. 41 dos anexos). Neste estudo, os pés da plataforma foram suprimidos, sendo que no local onde estes são colocados foi aplicada uma fixação do tipo *fixed geometry*. No local onde se localizam os niveladores da plataforma de solo foi aplicada uma fixação *immovable no translation* (figura 3.37).

Toda a estrutura, com exceção dos pequenos blocos em que se aparafusam os pés da plataforma de solo, foi simulada com elementos casca. Os pequenos blocos foram calculados com elementos sólidos, foi aplicado nestes um controle de malha, de modo a garantir que todos os elementos destes componentes tivessem 5 mm de espessura.

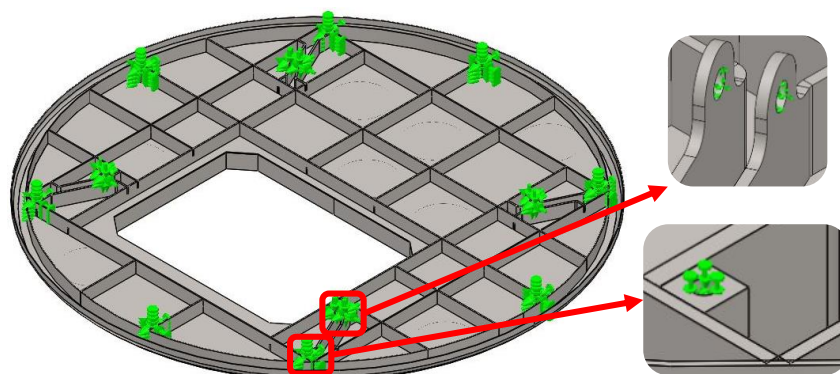


Figura 3.37 - Fixações consideradas no cálculo. Setas verdes – Bloqueio da rotação e deslocamento dos vetores representados (todos)

3.5.2.2. Estudo de convergência de malha

Na realização deste estudo foram testadas duas malhas, com o intuito de analisar o comportamento deste componente, nomeadamente uma malha padrão de alta qualidade (tabela 17 e gráfico 3.5) e uma malha baseada em elementos curvos de alta qualidade (tabela 18 e gráfico 3.6). Devido ao enunciado em 3.5.2.1. ambas as malhas contêm elementos mistos.

Tabela 17 - Estudo de convergência de malha

<i>Standard mesh_mesh high quality</i>			
Malha [mm]	Elementos Totais	Tensão [MPa]	Deslocamento [mm]
40	12100	245,929	5,28
30	15886	243,637	5,26
20	26444	249,836	5,69
17	32368	258,228	5,61
15	38422	245,201	5,60
12	57883	242,496	5,41
10	81370	241,263	5,38

Gráfico 3.5 - Estudo de convergência de malha

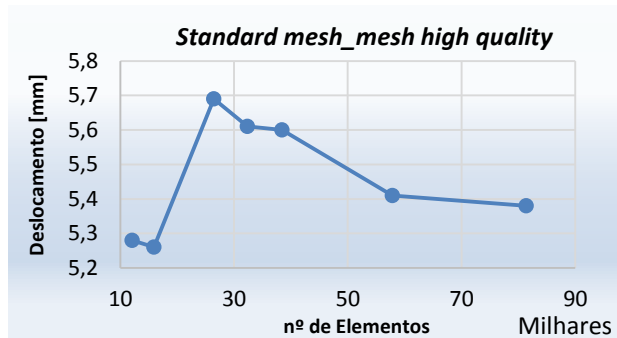
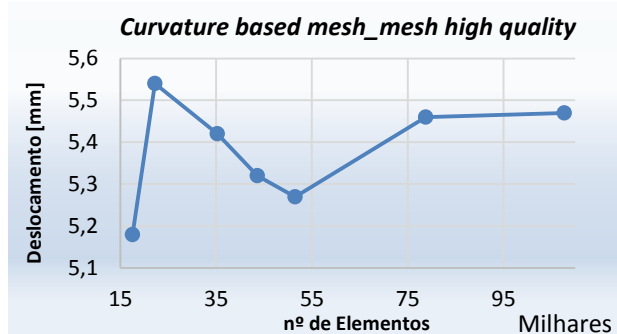


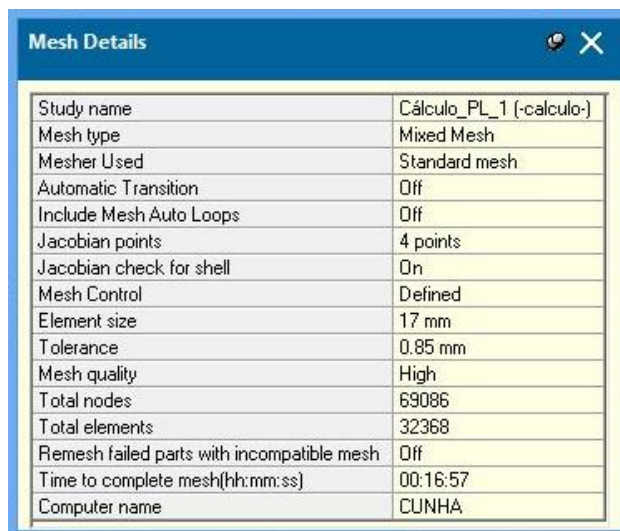
Tabela 18 - Estudo de convergência de malha

<i>Curvature based mesh_mesh high quality</i>			
Malha [mm]	Elementos Totais	Tensão [MPa]	Deslocamento [mm]
40	17510	243,518	5,18
30	22225	244,793	5,54
20	24242	243,834	5,42
17	43600	242,423	5,32
15	51509	240,498	5,27
12	78773	242,644	5,46
10	107711	242,544	5,47

Gráfico 3.6 - Estudo de convergência de malha



Com base nos resultados da tabela 17, conclui-se que a malha padrão de alta qualidade convergiu para elementos com 17 mm de espessura. Os detalhes e aspeto da malha otimizada puderam ser vistos nas figuras 3.38 e A.76 (pág. 41 dos anexos) respectivamente.



Study name	Cálculo_PL_1 (-calculo-)
Mesh type	Mixed Mesh
Mesher Used	Standard mesh
Automatic Transition	Off
Include Mesh Auto Loops	Off
Jacobian points	4 points
Jacobian check for shell	On
Mesh Control	Defined
Element size	17 mm
Tolerance	0.85 mm
Mesh quality	High
Total nodes	69086
Total elements	32368
Remesh failed parts with incompatible mesh	Off
Time to complete mesh(hh:mm:ss)	00:16:57
Computer name	CUNHA

Figura 3.38 - Detalhes da malha

Os principais resultados obtidos foram os seguintes:

- Deslocamento máximo 5,61 mm (figura A.77, pág.41 dos anexos);
- Tensão de *von Mises* máxima 258,076 MPa (figuras A.78 e A.79, pág. 42 dos anexos);
- Fator de segurança mínimo 1,06 (figura A.80 e A.81, pág. 43 dos anexos).

Considerando, a eventualidade que os elementos da malha possam ser demasiado grandes, que alguns nós apresentem tensões que não correspondem a realidade da envolvente, e avaliando todos os ensaios realizados (pág. 41 à pág. 57 dos anexos) é possível afirmar que a plataforma de solo se encontra bem dimensionada. Avaliando separadamente, a estrutura resistente e a estrutura pedonal da plataforma de solo chega-se as seguintes conclusões:

- Em todos os ensaios, a estrutura pedonal, demonstrou ser o componente menos resistente da plataforma de solo, sendo que em quase todos os estudos o coeficiente mínimo de segurança foi de aproximadamente 1,1. Considerando que o material usado para a construção deste elemento apresente uma resistência igual ou superior ao material testado, é possível afirmar que a chapa pedonal se tiver 3 mm de espessura não sofrerá qualquer deformação durante a realização do ensaio.
- Avaliando todos os ensaios, a estrutura resistente da plataforma de solo apresenta um coeficiente mínimo de segurança de 2,5 (média observada através da análises dos *plots* da tensão *von Mises* e calculando analiticamente o coeficiente de segurança), demonstrando assim que a sua espessura ideal é 4 mm.
- Avaliando as chapas que se ligam aos niveladores da plataforma de solo, pode-se concluir que estas têm a espessura ideal (6 mm).

3.6. Niveladores da Plataforma de Solo

Após ter sido estabelecido o requisito da plataforma de solo inclinar até $\pm 5\%$, chegou-se a conclusão que a plataforma de solo e o *quick* deveriam ser isolados um do outro. Essa alteração obrigou ao desenvolvimento de um elemento de ligação entre os dois que garantisse a inclinação desejada. Para esse fim, foram criados os niveladores da plataforma de solo. Estes apresentam um tamanho variável, podendo aumentar ou diminuir, conforme a necessidade, permitindo assim regular a inclinação da plataforma de solo. Os niveladores da plataforma de solo funcionam de forma semelhante a um esticador de arames de estendal, devido a terem na sua conceção elementos com rosca direita e rosca esquerda, o que possibilita o ajustamento do seu tamanho.

3.6.1. Apresentação das peças constituintes

Os niveladores da plataforma de solo (figura 3.40) são constituído por vários elementos tais como:

- Uma forquilha normal M14 com rosca direita (figura 2.27, pág. 21);
- Uma forquilha de ataque M14 com rosca esquerda (figura 2.28, pág. 21);
- Dois varões roscados M14 (um com rosca direita e o outro com rosca esquerda);
- Um varão de 25 *mm* de diâmetro, furado e roscado internamente (figura 3.39), metade com rosca direita M14 e a outra metade com rosca esquerda M14. No centro do varão são abertas caixas que facilitam o ajuste e afinação da plataforma de solo;
- Três porcas M14 cuja função é bloquear o movimento dos restantes elementos.

Não foi realizado qualquer cálculo ou dimensionamento aos niveladores da plataforma de solo devido ao facto de estarem sujeitos a esforços pouco significativos, como seja o esforço provocado pela massa da plataforma de solo no momento da descarga de RSU. Estes elementos também são solicitados no caso da plataforma de solo ser transposta acidentalmente por algum objeto pesado. Visto que este último caso é apenas uma eventualidade, e que o esforço é distribuído pelos vários pés, conclui-se que os niveladores acabam também por não ter uma importância muito significativa. O principal risco associado aos niveladores é o risco de encurvadura. Contudo, visto que as ligações são ambas articuladas, e o diâmetro do centro dos niveladores é maior do que o do varão roscado, esse risco acaba por ser bastante reduzido.



Figura 3.39 - Afinador

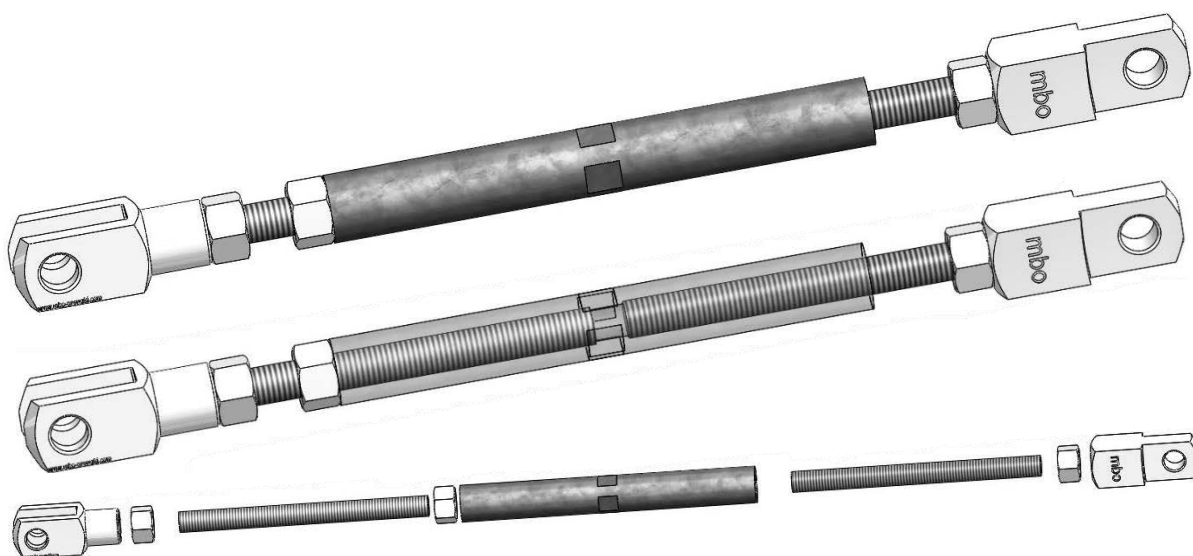


Figura 3.40 - Nivelador da Plataforma de Solo

3.7. Aro de Solo

O aro de solo é o elemento responsável por impedir que as águas pluviais entrem dentro da cuba de betão. Tal efeito é conseguido devido ao tipo de geometria desenvolvida. Como o aro interior é mais saliente do que o exterior, cria-se uma barreira à água. Essa barreira corresponde à diferença de alturas existente que, atualmente é de 15 *mm*.

3.7.1. Apresentação das peças constituintes

O aro de solo é formado por duas chapas calandradas soldadas entre si (figura 3.41), este depois de soldado fica com a configuração da figura 3.42. A junção das duas chapas forma uma calha (a calha é ligada por um tubo ao saneamento). Depois de instalada, e em funcionamento, Chapa que forma uma pequena rampa vai encaixar no interior da calha (figura 3.36, pág. 89).

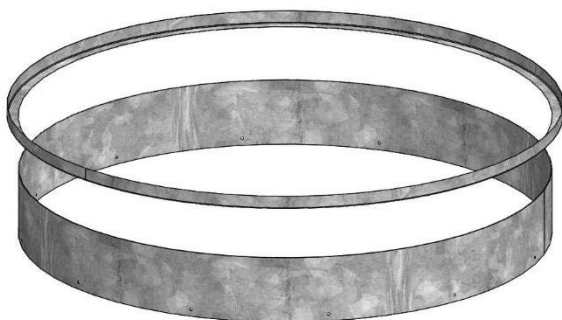


Figura 3.41 - Aro de solo em vista explodida

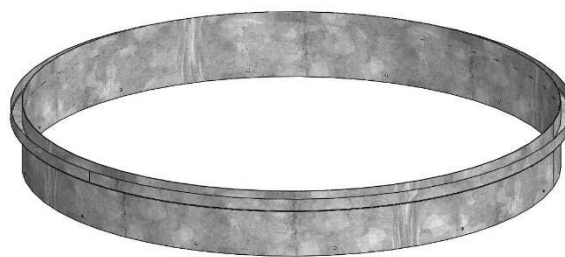


Figura 3.42 - Aro de solo

3.8. Conclusão

Durante o decorrer do estágio não se chegou a finalizar o *quick*, chegou-se apenas a uma geometria aproximada da ideal. Antes do estágio se dar por concluído verificámos que a solução de fazer a chapa central do *quick* como uma peça única quinada seria demasiado dispendiosa em material e de difícil manuseamento, devido ao seu peso e à dimensão. De forma a se superar estas limitações, foram propostas alterações que não chegaram a ser estudadas (embora tenham sido aprovadas), devido ao término do tempo do estágio. As alterações consistiam em dividir a estrutura central do *quick* (figura A.117, pág. 58 dos anexos), passando esta a ser constituída por um tubo e duas chapas quinadas. Esta solução permitiria reduzir custos em aquisição de material. Visto que a alteração não chegou a ser executada, o autor optou por analisar a resistência estrutural do *quick* existente.

Considerando que, eventualmente a dimensão dos elementos da malha possam ser demasiado grandes (devido a limitações de hardware não houve possibilidade de correr os estudos de convergência de malha com elementos de menor dimensão), que alguns nós apresentem tensões que não correspondem à realidade envolvente, e tendo em conta os resultados dos ensaios (pág. 31 à pág. 36), pode-se afirmar que o *quick* se encontra sobredimensionado. Esta conclusão pode ser tomada, tendo em consideração que a força aplicada no ensaio já contempla um coeficiente de segurança com valor de 3,5. Além disso a norma permite inclusivamente que as peças sofram deformações significativas durante o ensaio, apenas estabelece que não ocorra rutura. O sobredimensionamento da resistência do *quick*, tendo em conta os *plots* das tensões de *von Mises* e calculando analiticamente o fator de segurança, é superior a 2,1. Através da observação das figuras A.60 e A.64 dos anexos é possível concluir que a cor verde é a mais representativa nas três figuras, apresentando assim uma tensão aproximada de 130 MPa (poderá verifica-se também, que é difícil ter perceção na localização dos nós com as tensões máximas). Ora, com base nesta tensão obtém-se um fator de segurança mínimo de 2,1. Tendo em conta o que foi referido anteriormente, pode-se ainda considerar que todas as tensões superiores a 130 MPa não são relevantes pois apenas surgem em pequenos pontos, indicando que se tratam de erros numéricos localizados e não resultam de tensões locais. É necessário ter ainda em atenção que todas as ligações entre todos os componentes desta estrutura serão soldados e neste estudo foi considerado que seriam apenas *ligados*.

Caso seja necessário efetuar uma redução no sobredimensionamento e se opte por manter a configuração apresentada e testada, poderá se diminuir a chapa central (figura 3.12, pág. 77). A importância da diminuição da altura máxima terá de ser analisada através da realização de novos estudos numéricos, enquanto a restante estrutura poderá manter-se inalterada.

As conclusões relativamente aos restantes elementos, como sejam a haste do *quick* com sistema de argola simples e da plataforma de solo foram efetuadas aquando a sua interpretação.

Capítulo 4. Conclusões Finais

O estágio teve como principal objetivo a realização de um projeto que visava o desenvolvimento de um contentor enterrado para resíduos sólidos urbanos. Para que tal fosse possível foram executadas duas etapas principais: o desenvolvimento da plataforma de segurança e do sistema de extração. No desenvolvimento da plataforma de segurança foi criado e desenvolvido um novo conceito de mecanismo de bloqueio, assim como a estrutura da plataforma, e testada a sua resistência mecânica. Em relação ao sistema de extração foram criados vários componentes que permitiram o seu funcionamento, tais como, o *quick*, a plataforma de solo, os niveladores da plataforma de solo e o aro de solo.

Os requisitos mínimos exigidos pelo cliente, assim como a norma em vigor (EN13071, 2008) para este tipo de contentores, foram respeitados e tidos sempre em atenção (o sistema de extração é compatível com solos planos e inclinados, devido à plataforma de solo permitir inclinações para valores de desnível até $\pm 5\%$). O *quick* foi estudado e concebido para poder funcionar com um de dois sistemas de extração: sistema Kinshofer, ou sistema de argola simples. A configuração do aro de solo e da plataforma de solo não permite que as águas pluviais entrem dentro deste. O cabeçote está protegido de eventuais embates na descarga de RSU), para que tal não pusesse em causa a aprovação do projeto.

O projeto foi realizado da forma mais precisa possível, tendo em conta algumas limitações referentes ao *software* e ao *hardware* disponíveis, assim como a gestão de tempo, recursos humanos (outros projetos prioritários) e a ordem dos trabalhos (esta estipulava que as otimizações só seriam realizadas após a criação dos primeiros protótipos), o que não permitiu otimizar a plataforma de segurança, nem o sistema de extração.

O desenho dos mecanismos de bloqueio e da plataforma de segurança representaram um enorme desafio. As versões da plataforma de segurança que foram testadas no decorrer deste relatório foram aprovadas pelo *CEO* da *MODO* exato *Design* e enviadas para a *SOPSA* para produção de protótipos, onde serão testadas em cenário real. Desta forma conclui-se que o desafio do desenvolvimento deste protótipo foi superado. Em relação ao sistema de extração, a configuração geral foi aprovada pelos vários intervenientes mas ficou a faltar reavaliar as questões mencionadas neste relatório.

Finalizado o desenvolvimento da plataforma de segurança foi possível concluir que foi criada uma nova configuração, mais segura e fiável, aquando a inexistência de manutenção. Relativamente ao sistema de extração, como pretendido ele é versátil, permite usar várias configurações de cabeçotes, bem como funcionar com sistema de recolha Kinshofer ou sistema de argola simples.

Futuramente, depois de protótipados, testados e aprovados em funcionamento real, todos os componentes desenvolvidos deverão ser otimizados. As otimizações devem ser realizadas conforme foram propostas nas conclusões dos respetivos componentes e capítulos.

Referências Bibliografia

EN10025. 2004. [Online] 2004. http://www.cemacobr.com.br/_midia/pdf/en-10025-2.pdf.

EN13071. 2008. European Standart . *Stationary waste containers up to 5000l, top lifted and bottom emptied.* june de 2008.

EN13071-1. 2008. European Standard. *Stationary waste containers up to 5000l, top lifted and bottom emptied - Part 1: General requirements.* 2008.

EN13071-2. 2008. European Standard. *Stationary waste containers up to 5000l, top lifted and bottom emptied - Part 2: Additional requirements for underground or partly underground systems.* 2008.

Fanamol. molas-de-compressao. *Fanamol-Online.* [Online] <http://www.fanamol.pt/loja/loja/molas-de-compressao>.

Grupo Ferpinta. *ferpinta.* [Online] <http://www.ferpinta.pt/index.php?cat=26>.

MODO exato Design. <http://www.mododesign.eu/>. [Online] <http://www.mododesign.eu/>.

RoyMech. Coefficients of friction. *RoyMech.* [Online] http://www.roymech.co.uk/Useful_Tables/Tribology/co_of_frict.htm.

SolidWorks. 2015. *Ajuda do SOLIDWORKS.* [Online] 2015. http://help.solidworks.com/2016/Portuguese-brazilian/SolidWorks/sldworks/c_introduction_toplevel_topic.htm.

—. **2014.** Conceitos básicos de análise. *Ajuda do SOLIDWORKS* . [Online] 2014. http://help.solidworks.com/2014/portuguese-brazilian/solidworks/cworks/c_basic_concepts_of_analysis.htm.

—. **2014.** Shell Mesh Overview. *SolidWorks help.* [Online] 2014. http://help.solidworks.com/2014/portuguese-brazilian/SolidWorks/cworks/c_Shell_Mesh.htm?format=P.

SOPSA - representação e comércio, SA. lasso ECO INNOVATION. *SOPSA Innovation for the Environment.* [Online] MODO exato Design. <http://www.sopsa.pt/>.

Sullivan, James F. 1988. *Technical Physics.* USA : Wiley, 1988. 204.

traceparts. <http://www.tracepartsonline.net/>. *traceparts Product Content Everywhere.* [Online] [http://www.tracepartsonline.net/\(S\(2waykbtmyy2qkrylo5eg5waw\)\)/PartDetails.aspx?Class=ENOMAX&clsid=&ManID=ENOMAX&PartFamilyID=10-23072004-103586&PartID=10-23072004-103586&sk_Reference=2340.125&SrchrsltId=5&SrchrsltType=4](http://www.tracepartsonline.net/(S(2waykbtmyy2qkrylo5eg5waw))/PartDetails.aspx?Class=ENOMAX&clsid=&ManID=ENOMAX&PartFamilyID=10-23072004-103586&PartID=10-23072004-103586&sk_Reference=2340.125&SrchrsltId=5&SrchrsltType=4).

A. Anexos

A.1. Figuras complementares da introdução



Figura A.1 - Contentor enterrado com cuba quadrada



Figura A.2 - Contentor enterrado com cuba circular de PE da SOPSA

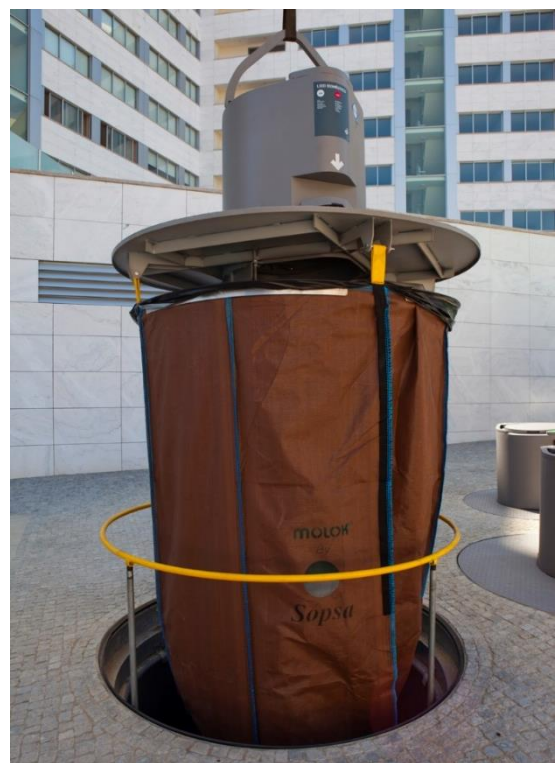




Figura A.3 - Contentor semienterrado, com cuba circular de betão e PE da SOPSA, respetivamente

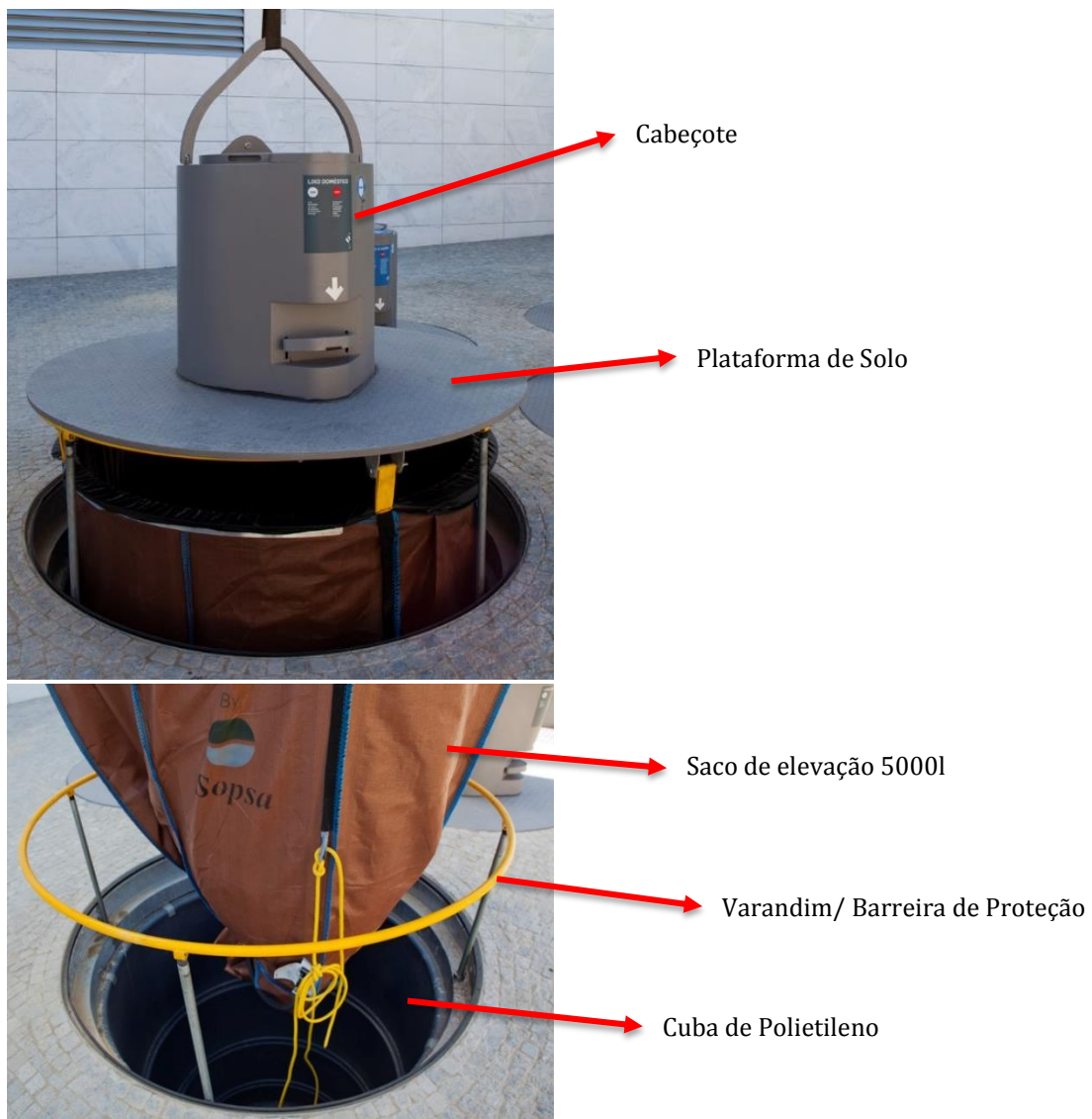


Figura A.4 - Blee Bee

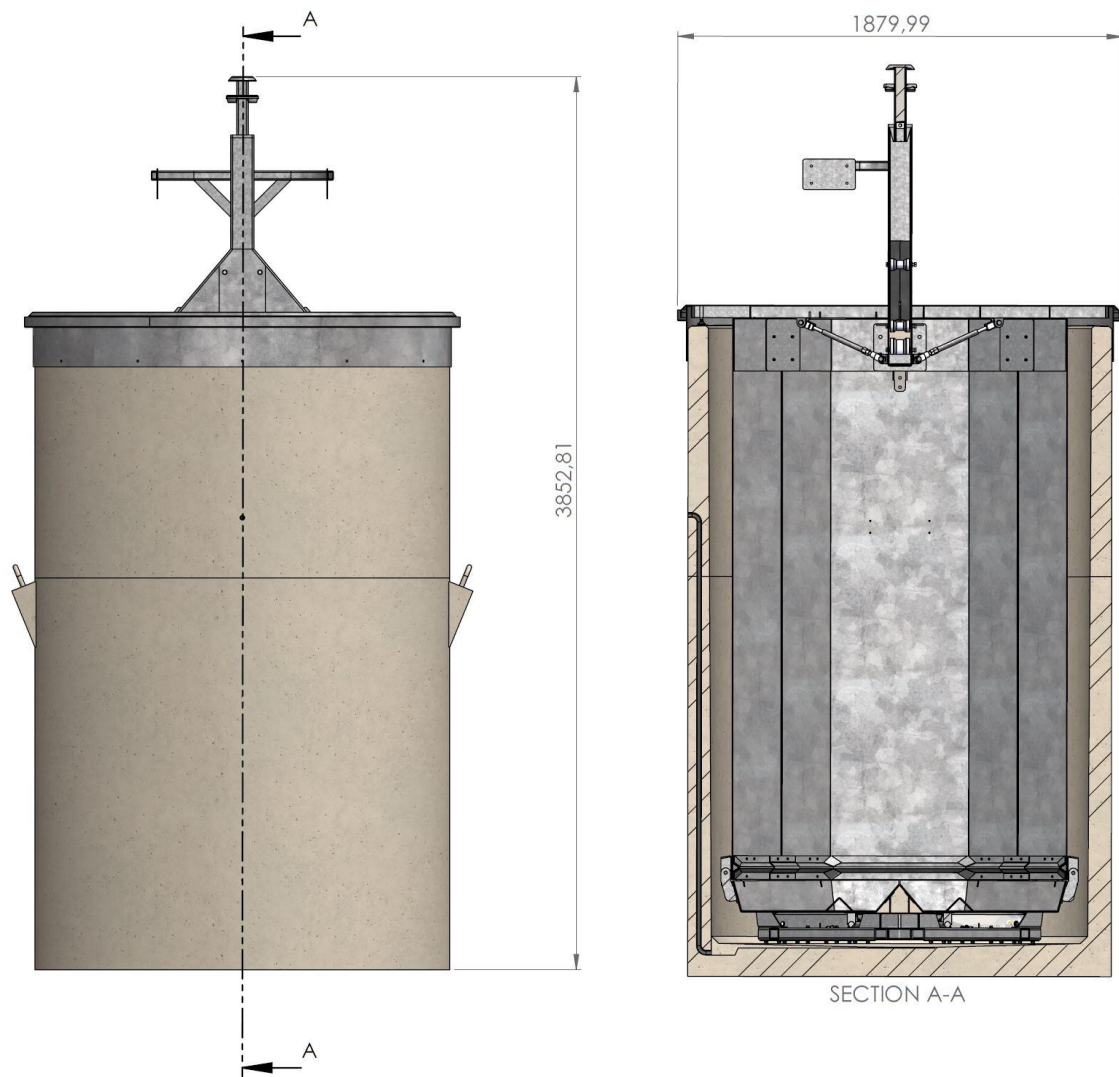


Figura A.5 - Blue Cee visto de frente e em corte

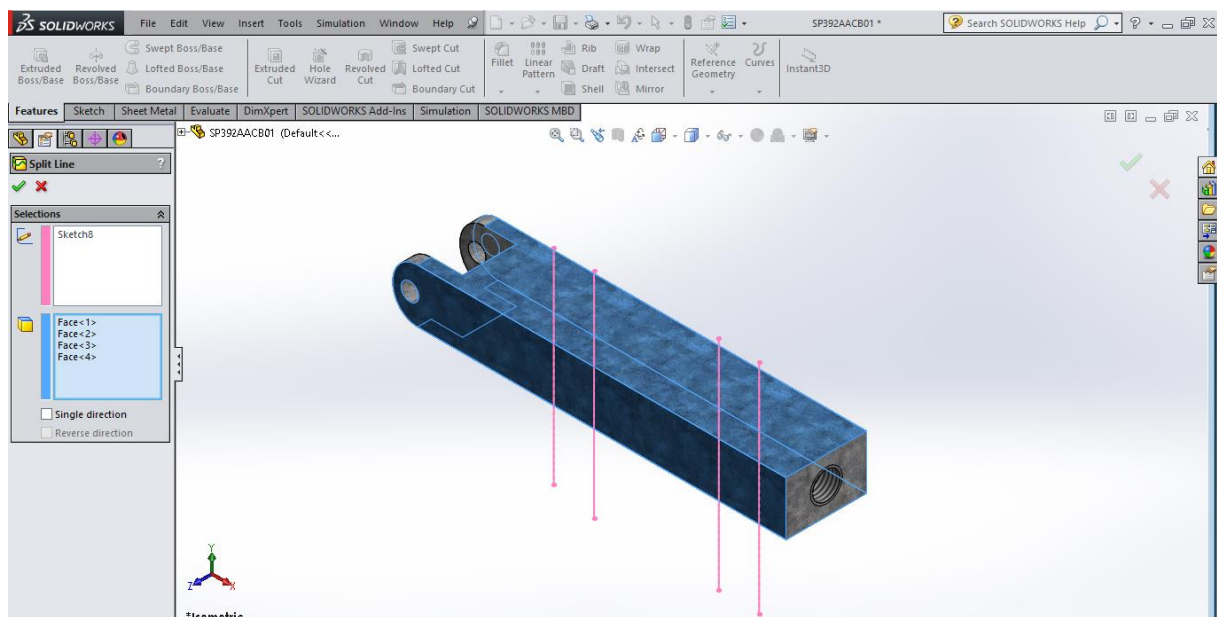


Figura A.6 - Criação da Split Line

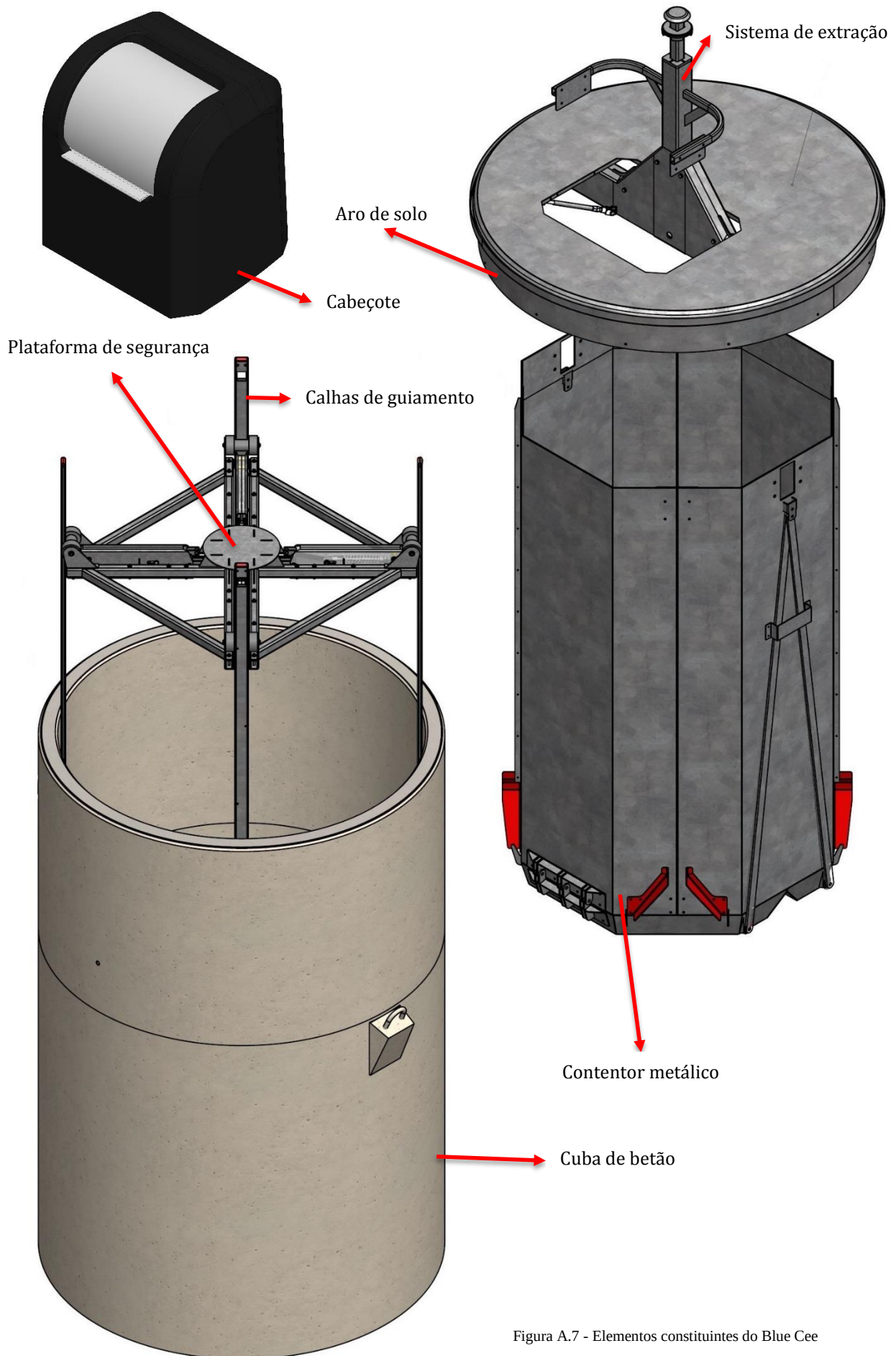


Figura A.7 - Elementos constituintes do Blue Cee

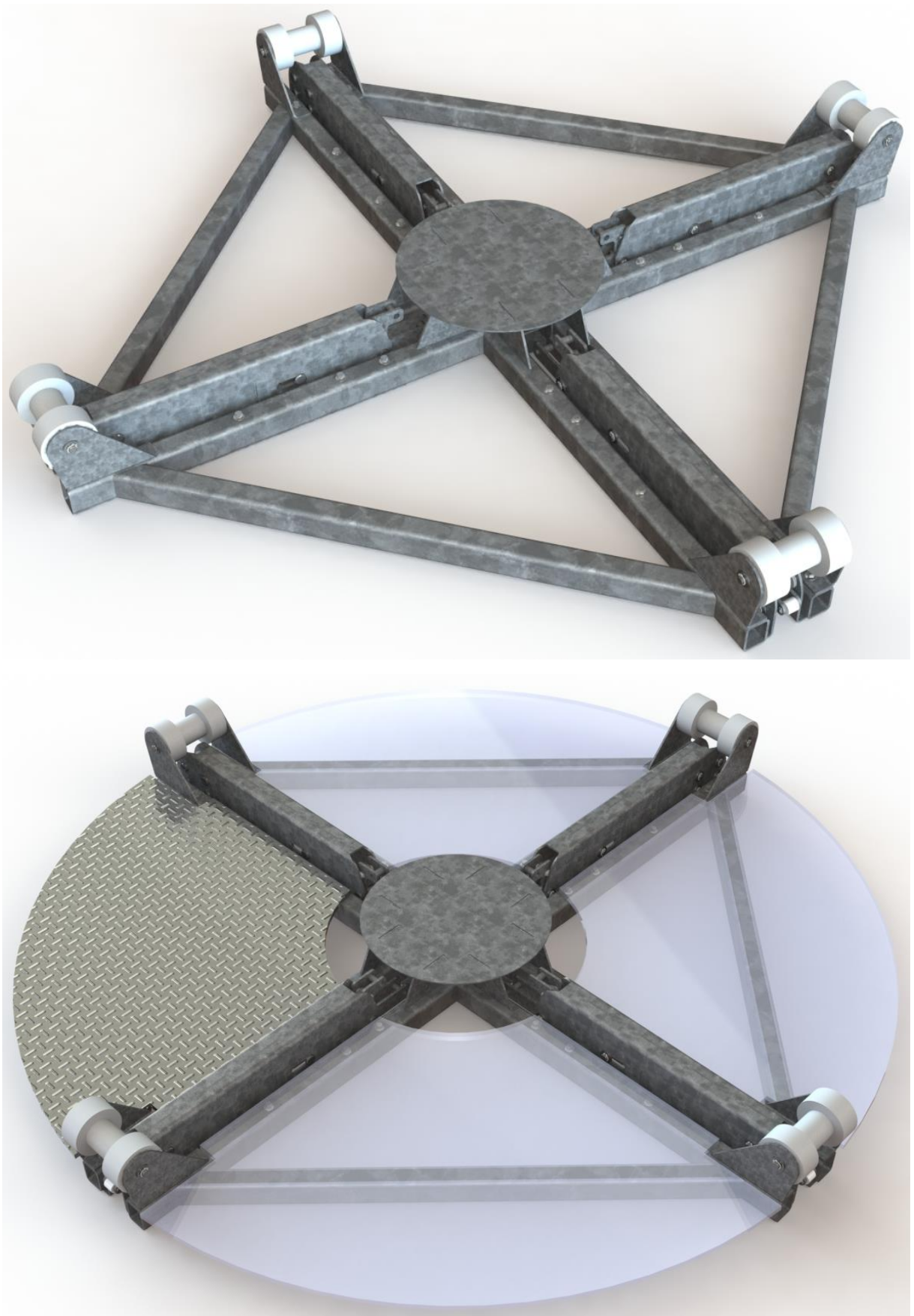


Figura A.8 - Render's da plataforma de segurança, sem e com, proteção da queda de transeuntes, respetivamente



Figura A.9 - Render's do sistema de extração, com e sem aro de solo, respetivamente

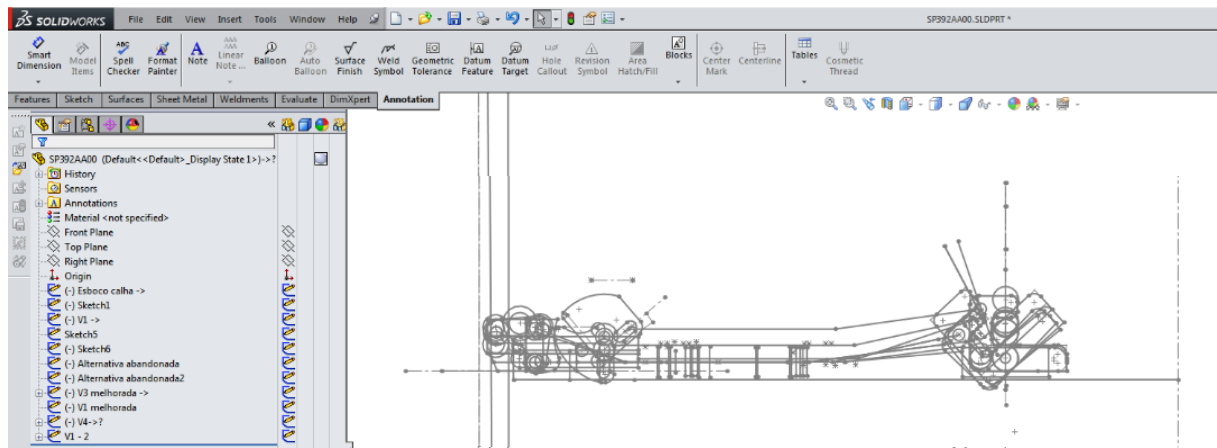


Figura A.10 - Ficheiro *part* específico para esboços

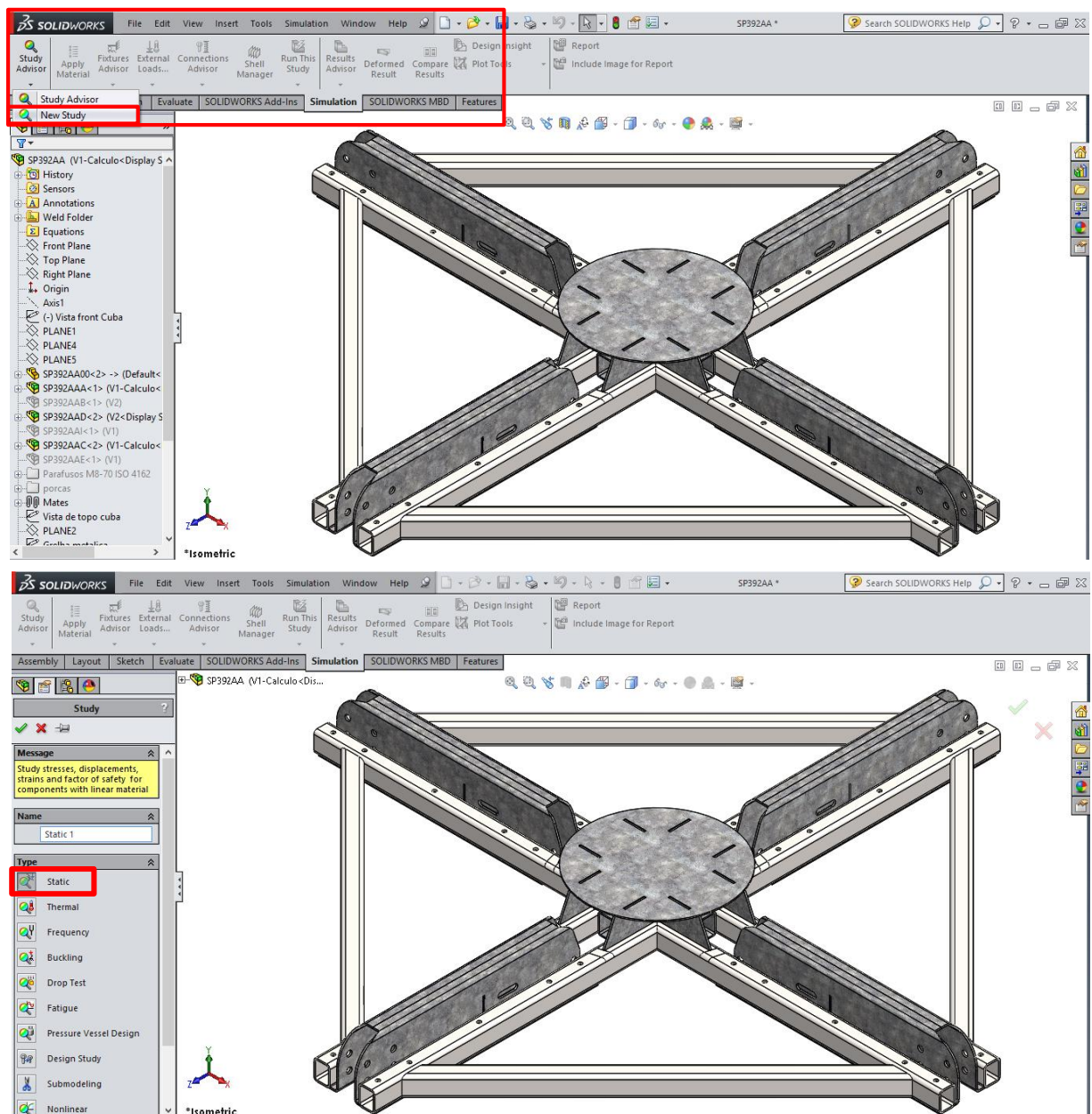


Figura A.11 - Criação de novo estudo

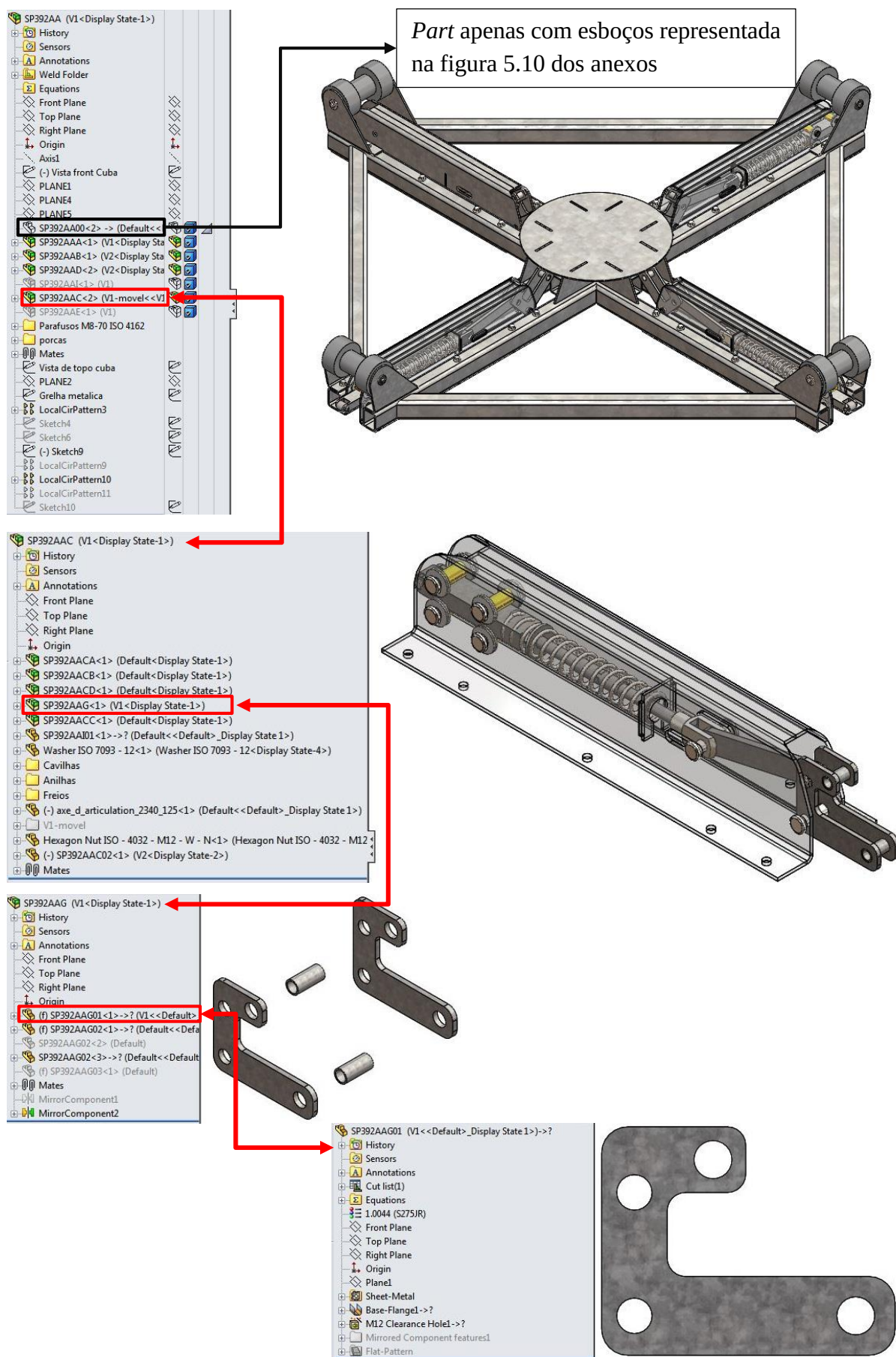


Figura A.12 - Forma de construção dos vários componentes

A.2. Figuras complementares do 2º Capítulo

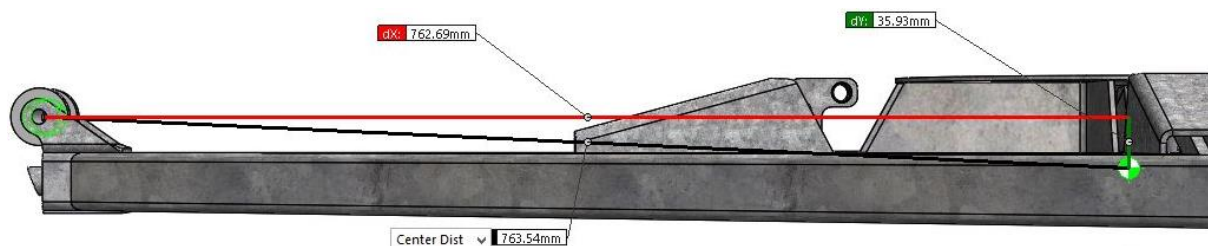


Figura A.13 - Distância do centro de gravidade ao centro do rolete na 2ª versão da Plataforma de Segurança

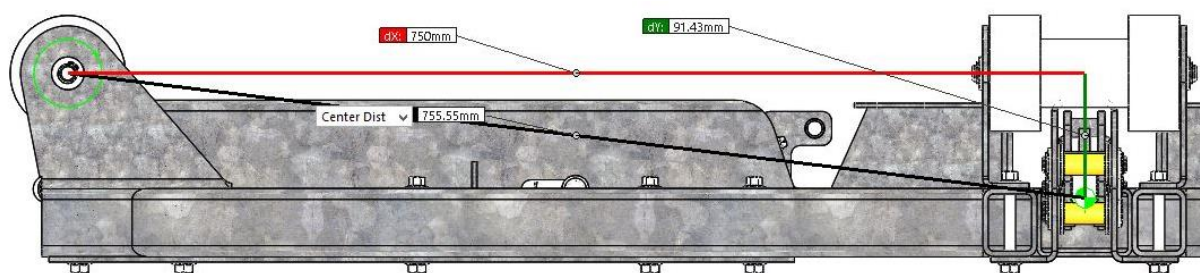


Figura A.14 - Distância do centro de gravidade ao centro do rolete para 2ª versão da Plataforma de Segurança com a 1ª versão do MB

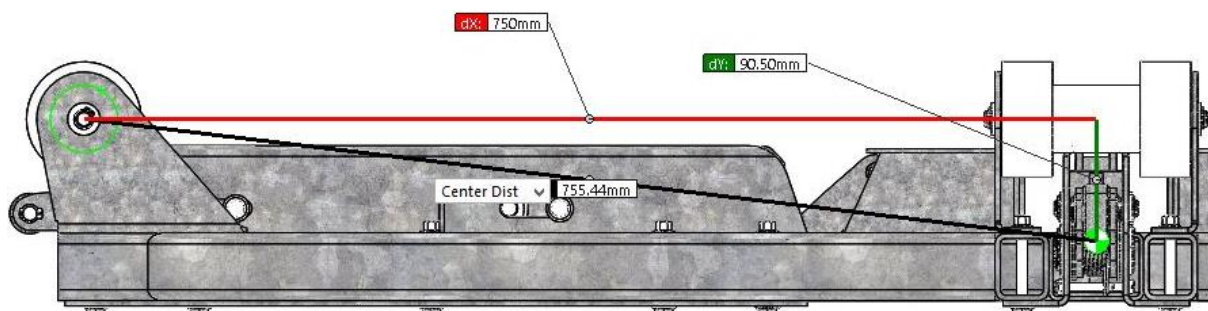


Figura A.15 - Distância do centro de gravidade ao centro do rolete para 3ª versão da Plataforma de Segurança com a 4ª versão do MB

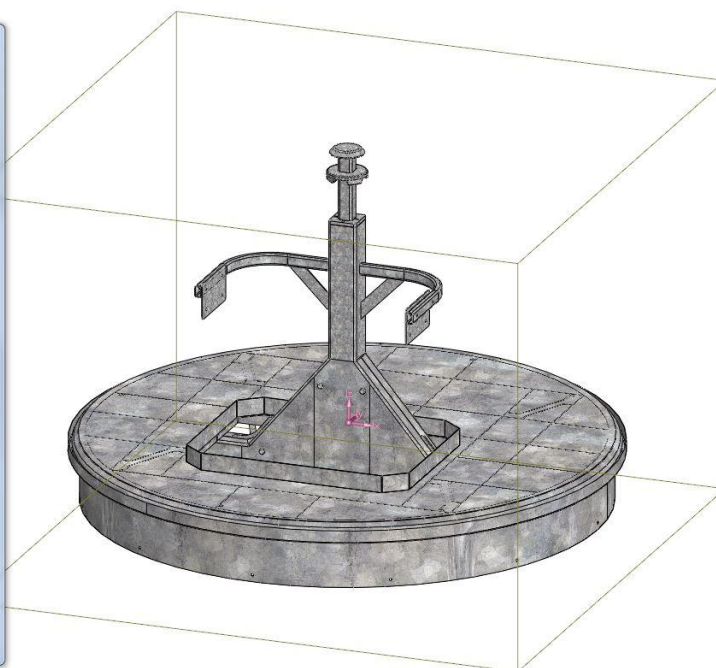
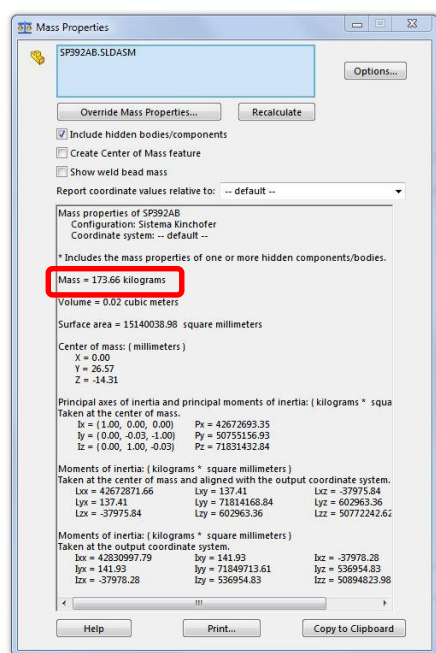


Figura A.16 - Massa prevista do sistema de extração

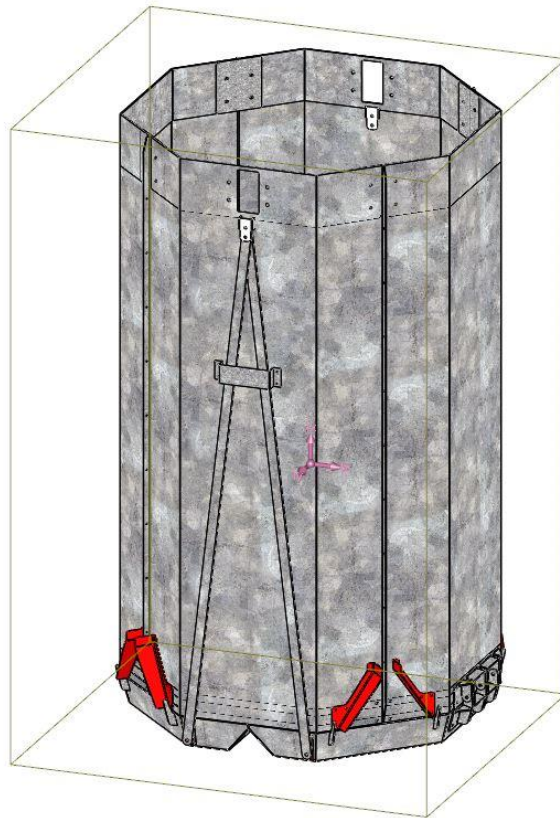
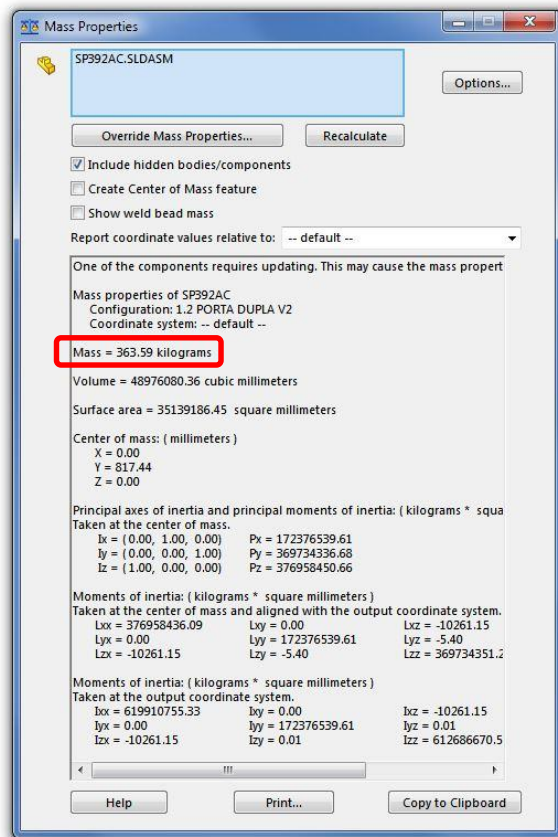


Figura A.17 - Massa prevista do contendor metálico

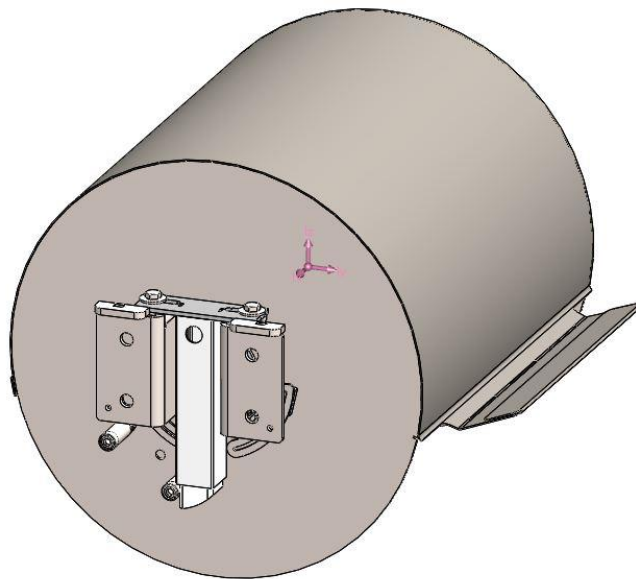
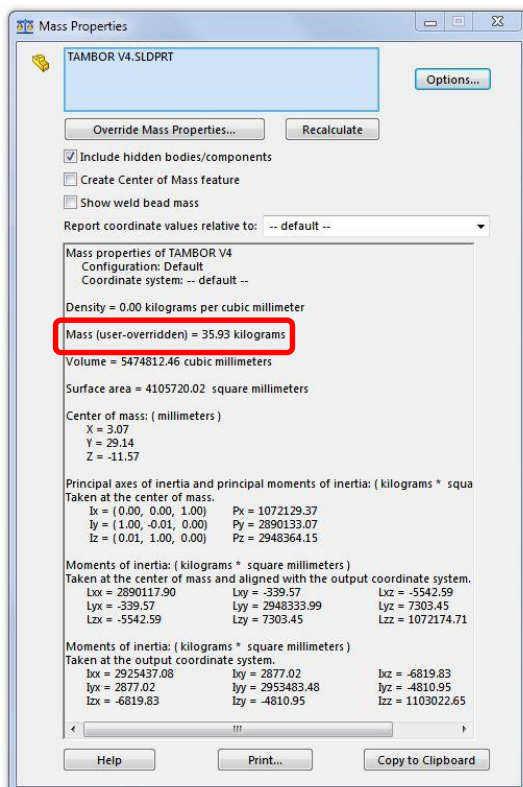


Figura A.18 - Massa prevista do tambor duplo

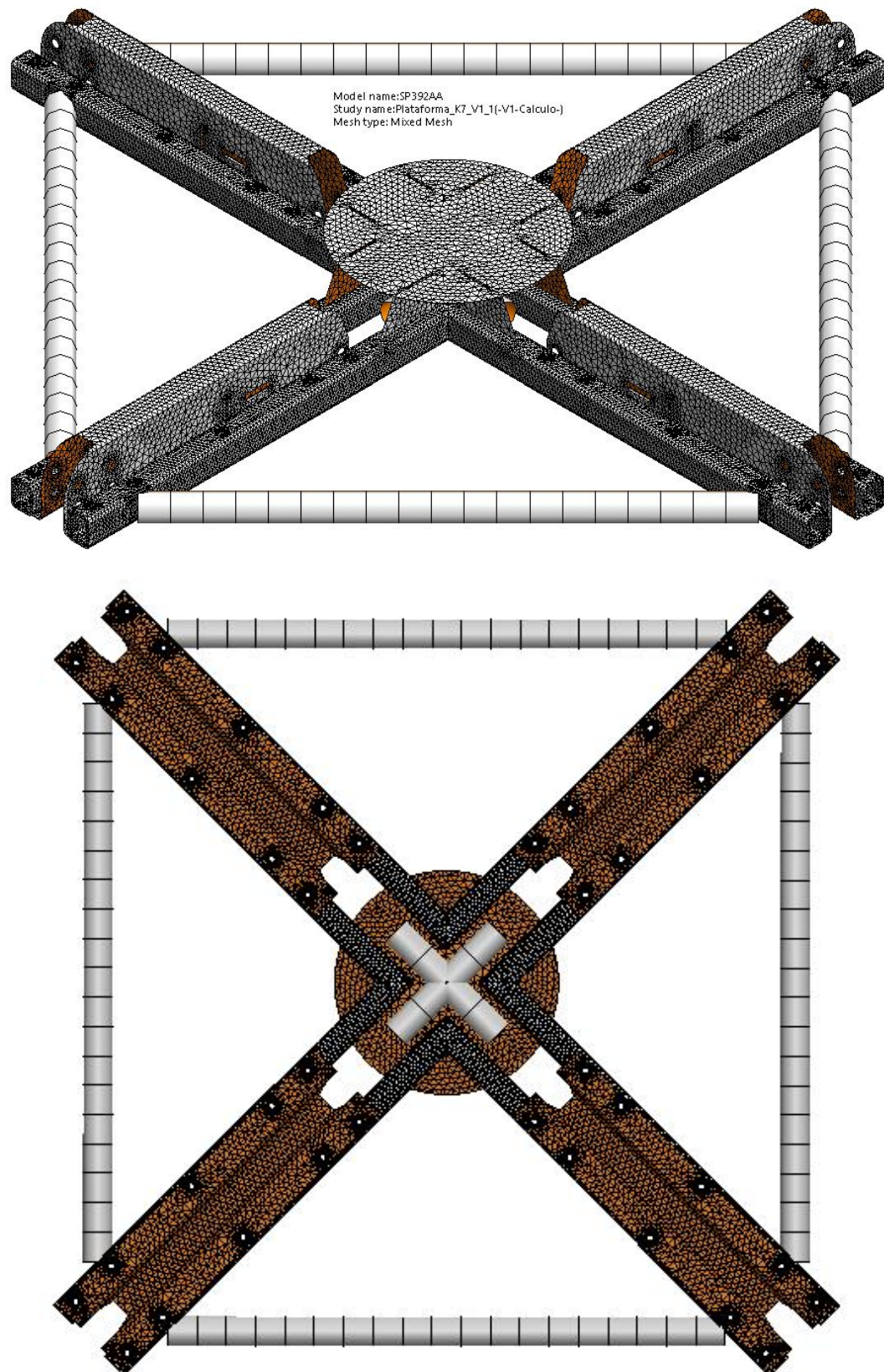
A.2.1. Ensaio da plataforma de segurança com elementos viga

Figura A.19 - Aspeto da malha convergida

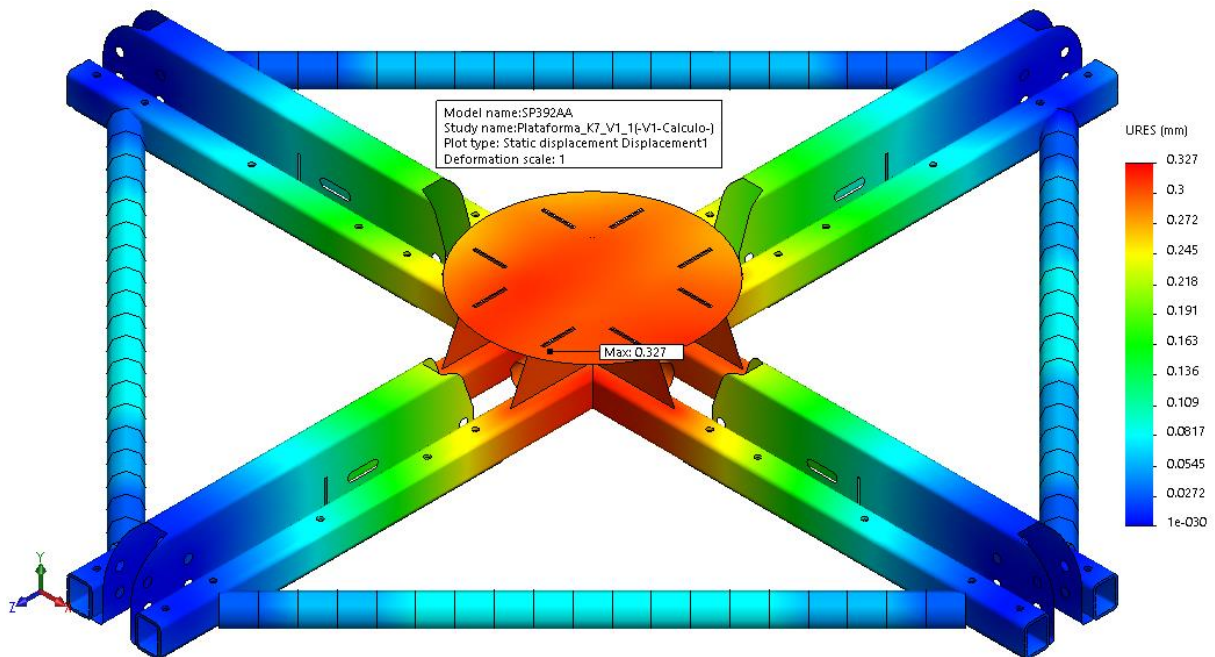


Figura A.20 - Distribuição dos deslocamentos resultantes

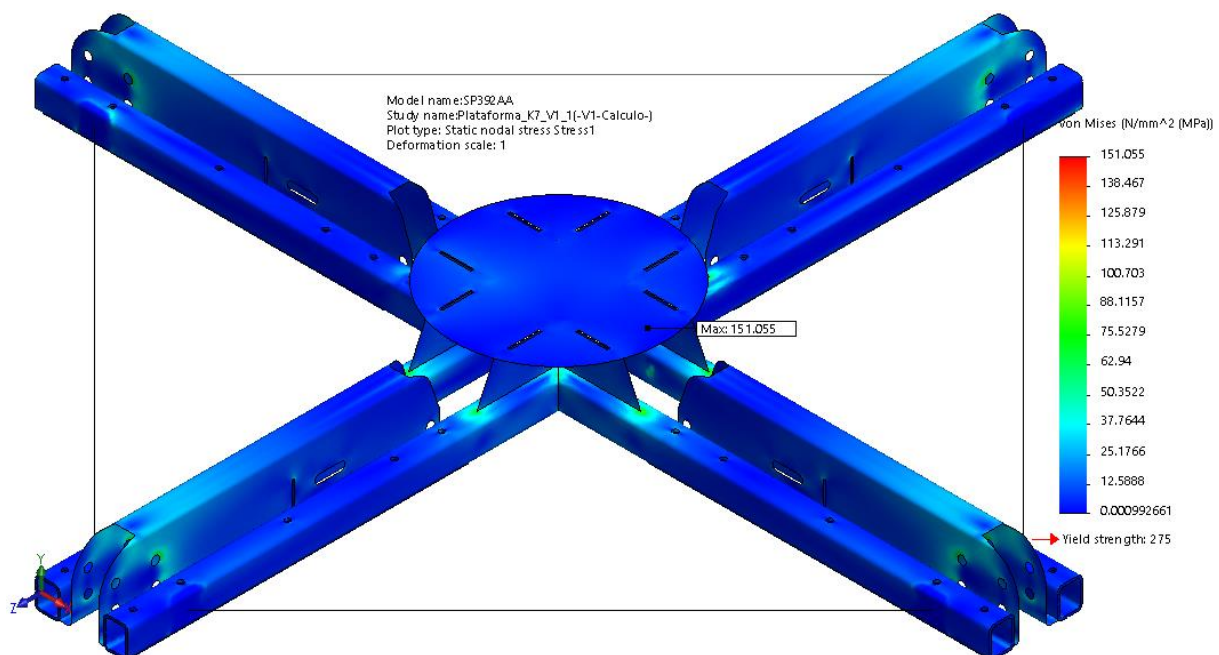


Figura A.21 - Distribuição das tensões

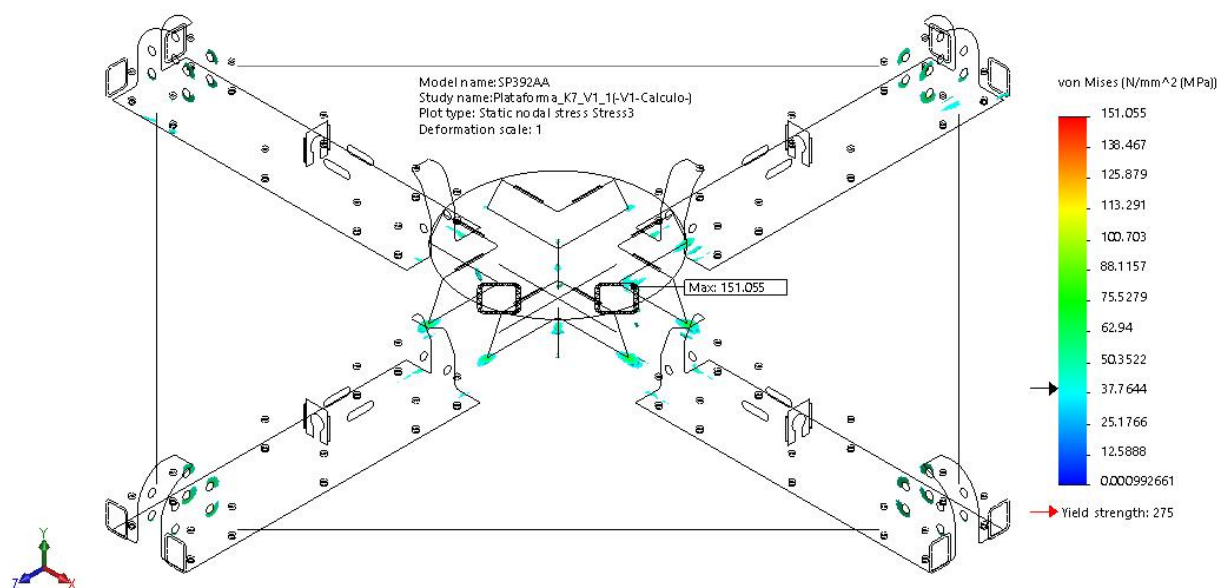


Figura A.22 - Distribuição das tensões superiores a 40MPa

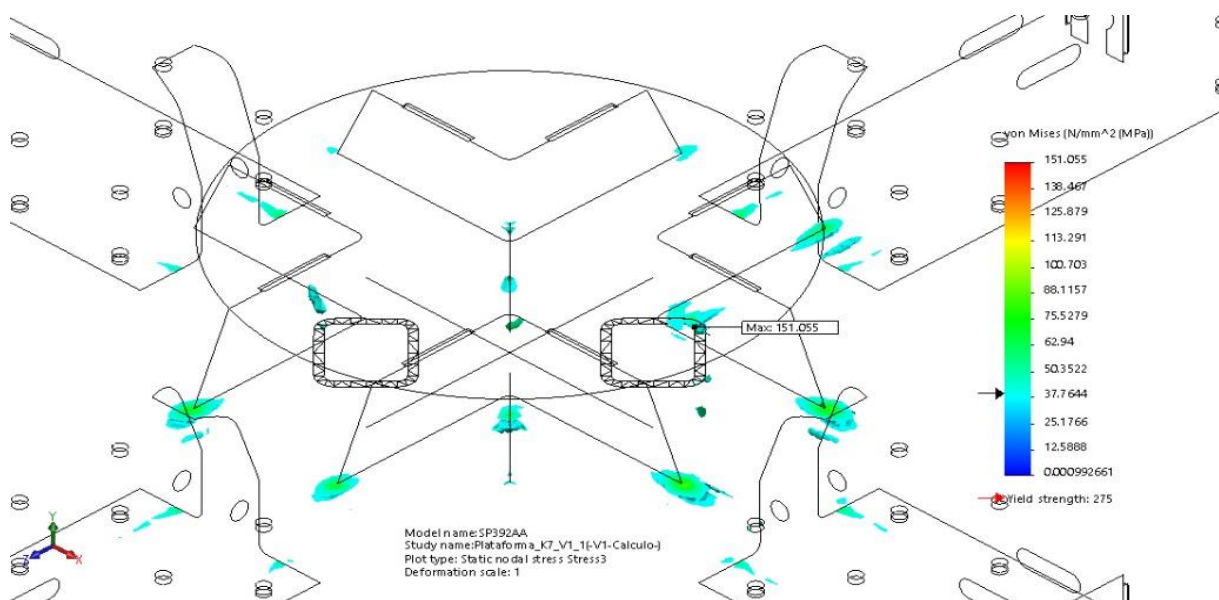


Figura A.23 - Pormenor das tensões superiores a 40 MPa

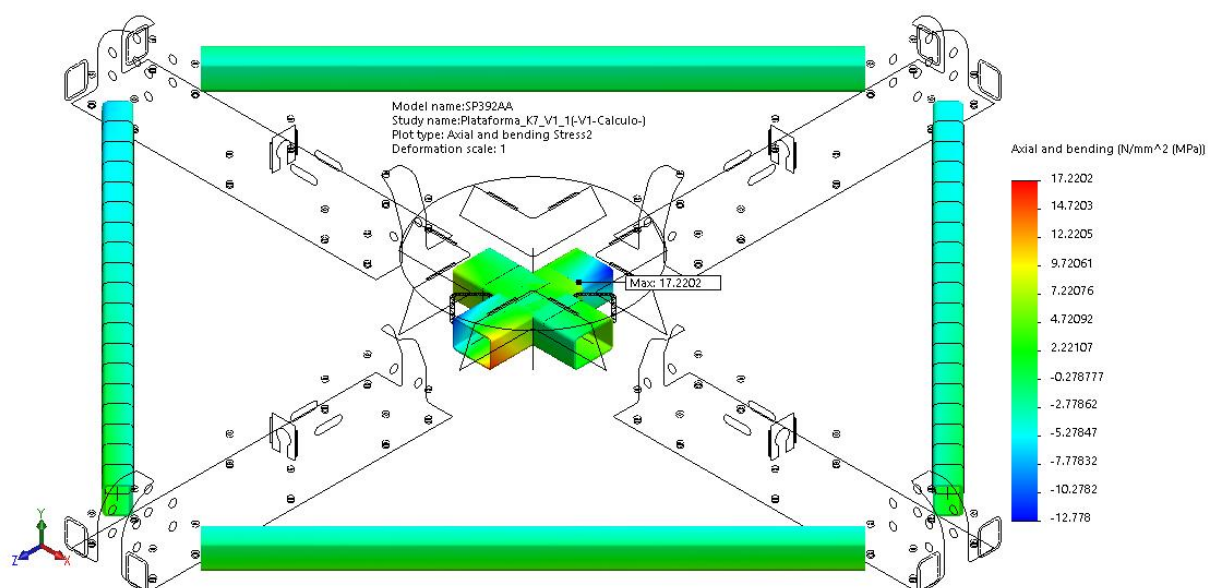


Figura A.24 - Distribuição das tensões nos elementos viga

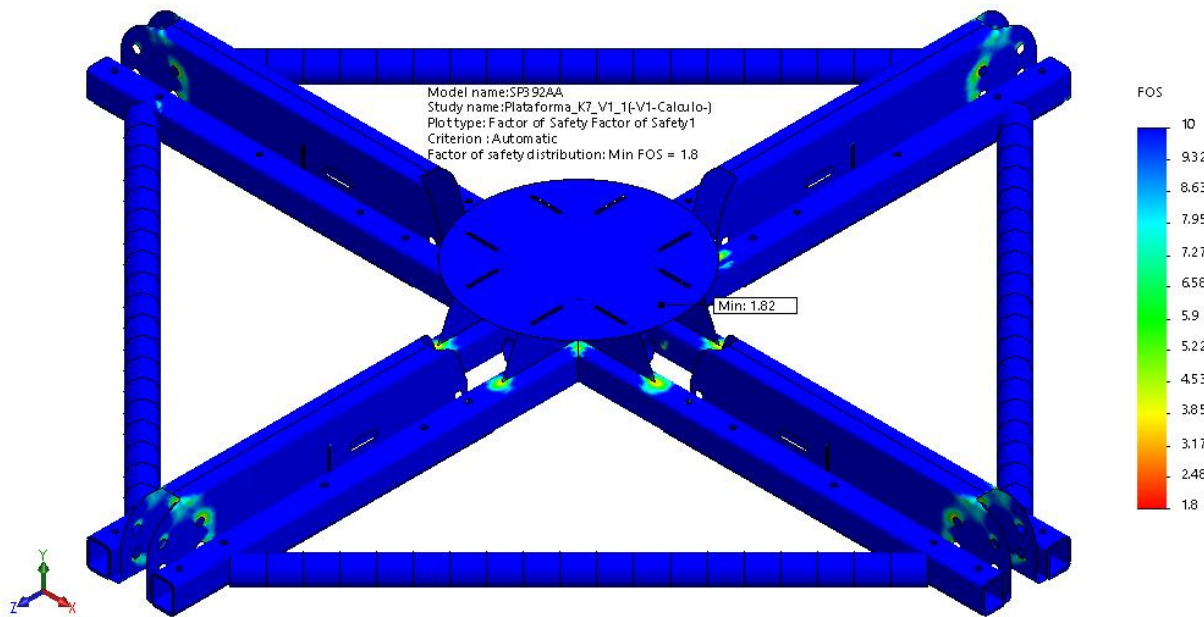


Figura A.25 - Distribuição do fator de segurança

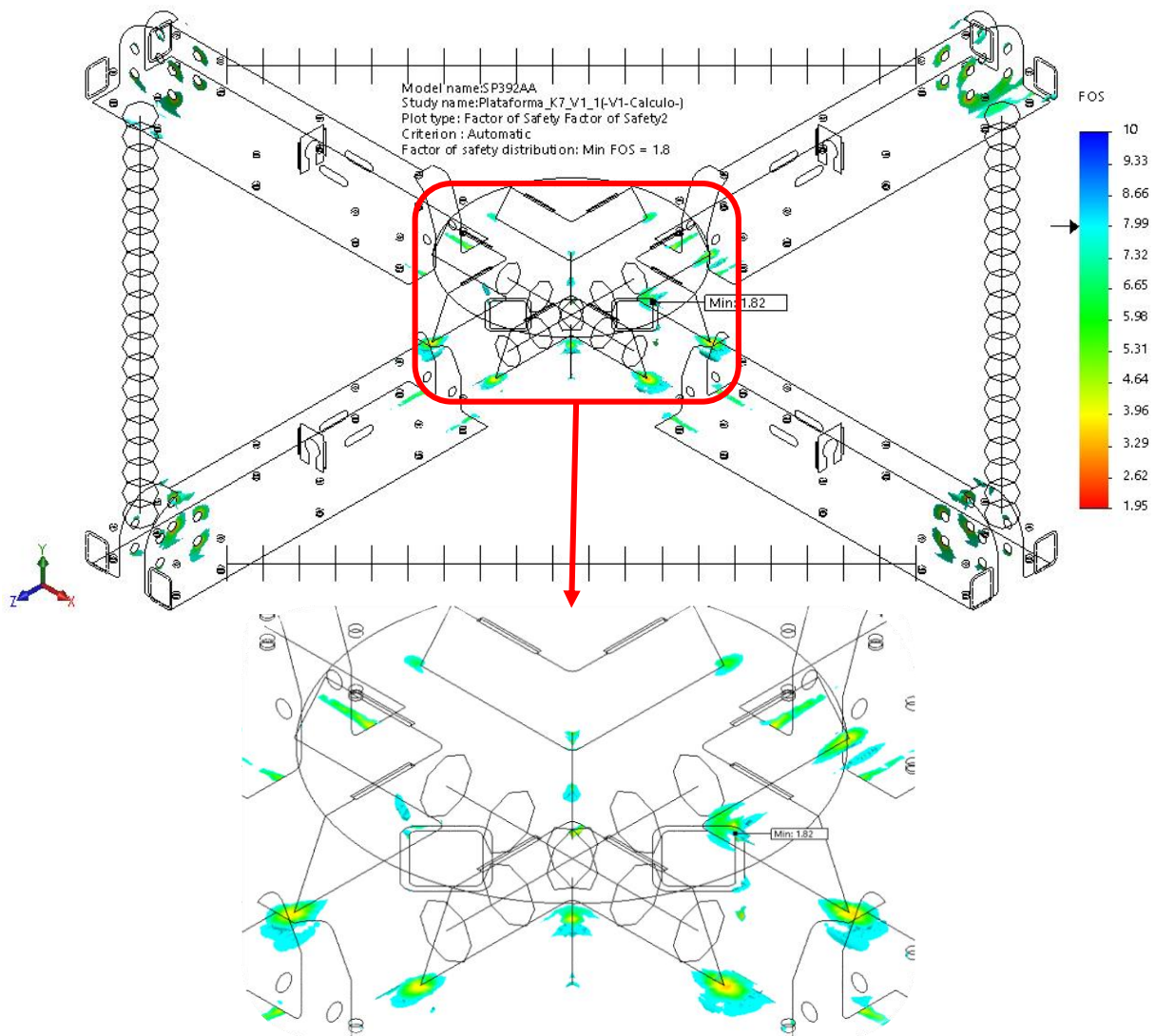


Figura A.26 - Distribuição do fator de segurança inferior a 8

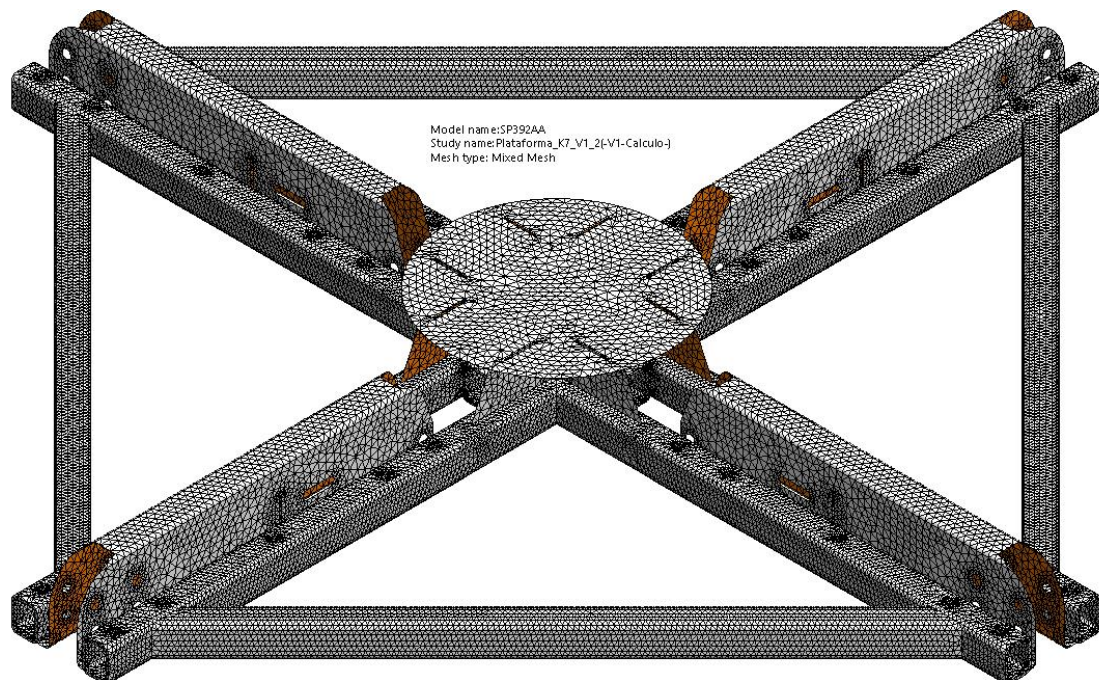
A.2.2. Ensaio da plataforma de segurança sem elementos viga

Figura A.27 - Aspetto da malha convergida

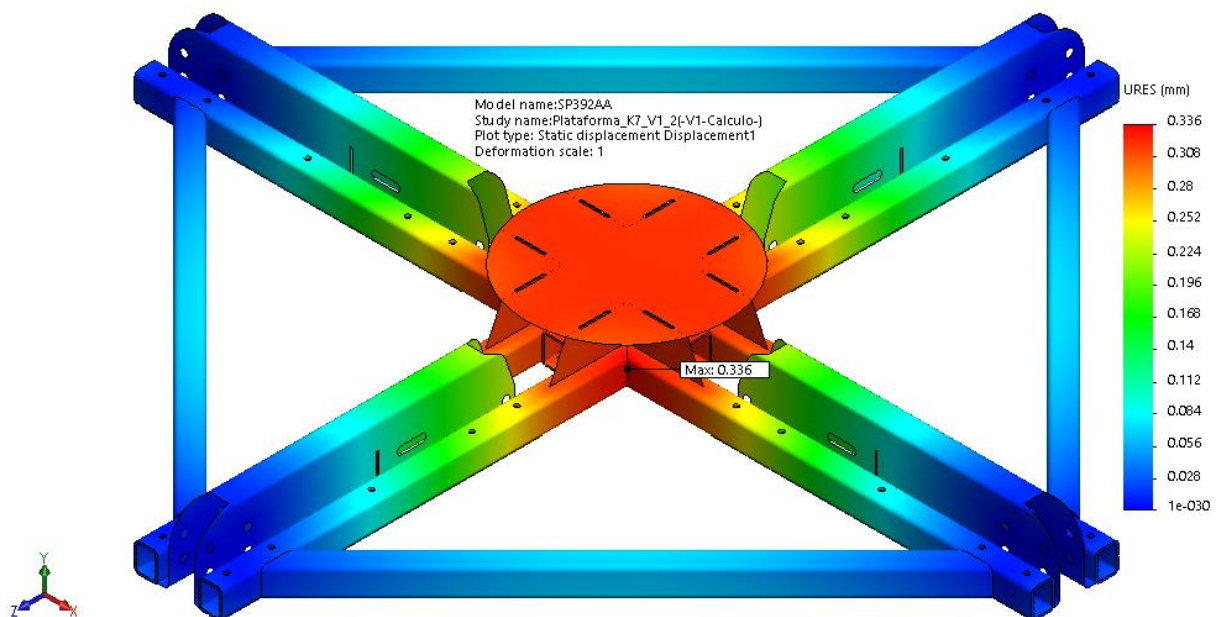


Figura A.28 - Distribuição dos deslocamentos resultantes

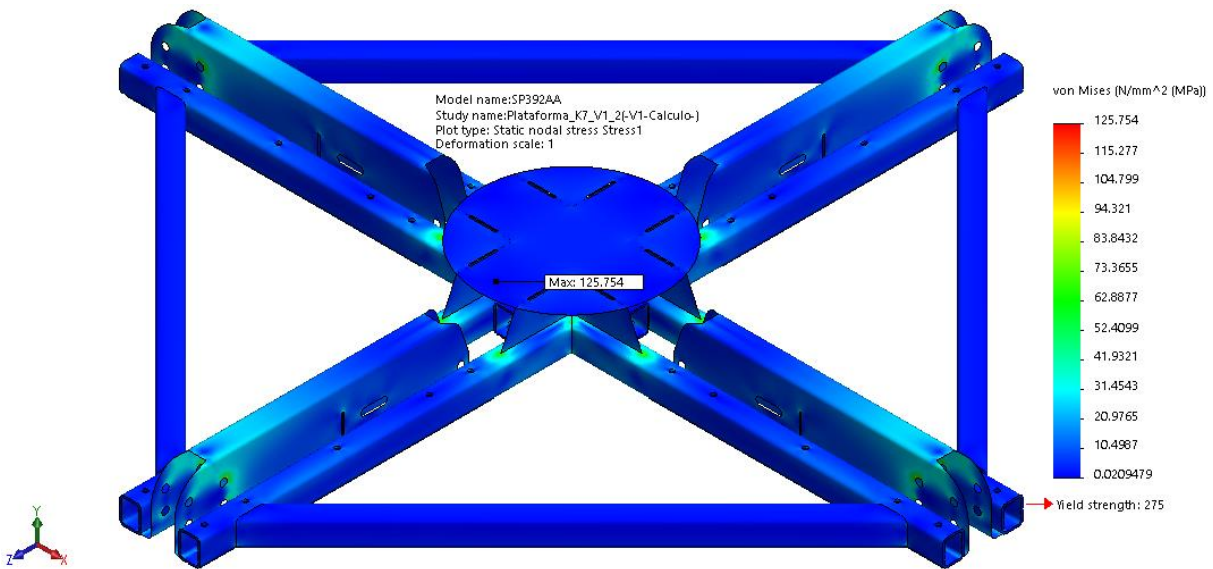


Figura A.29 - Distribuição das tensões

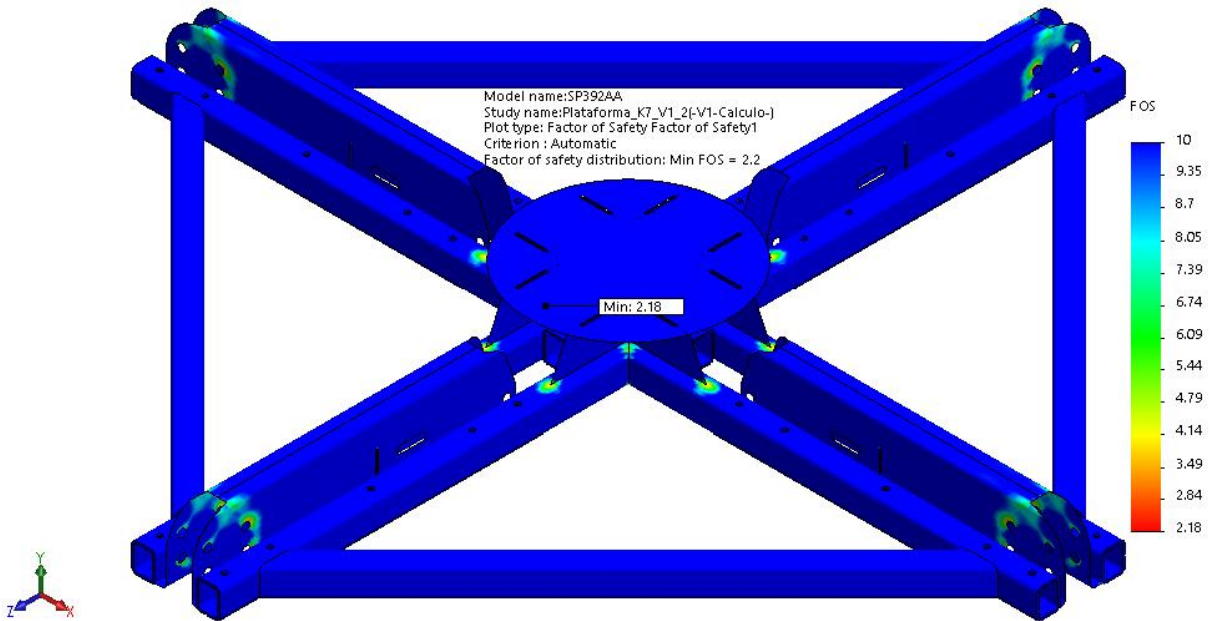


Figura A.30 - Distribuição do fator de segurança

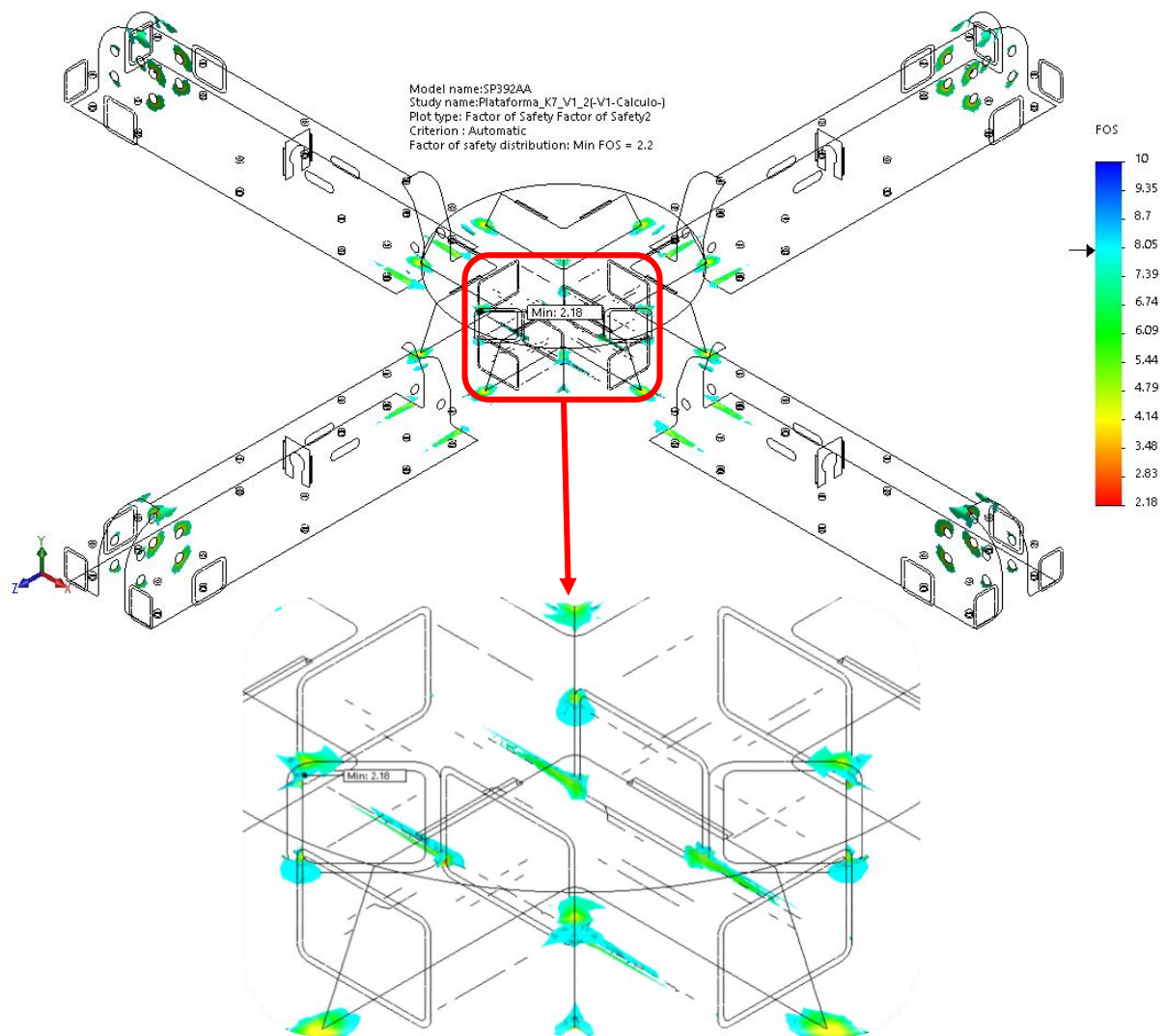


Figura A.31 - Distribuição do fator de segurança inferior a 8

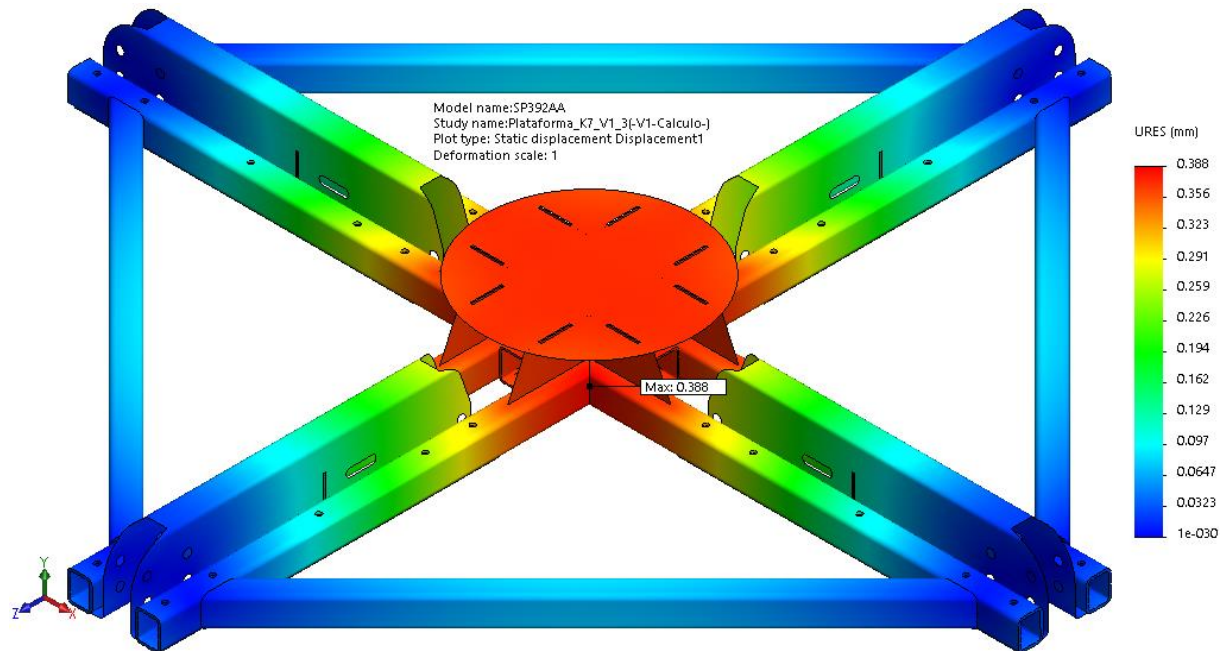
A.2.3. Ensaio da plataforma de segurança fixa em 4 furos

Figura A.32 - Distribuição dos deslocamentos resultantes

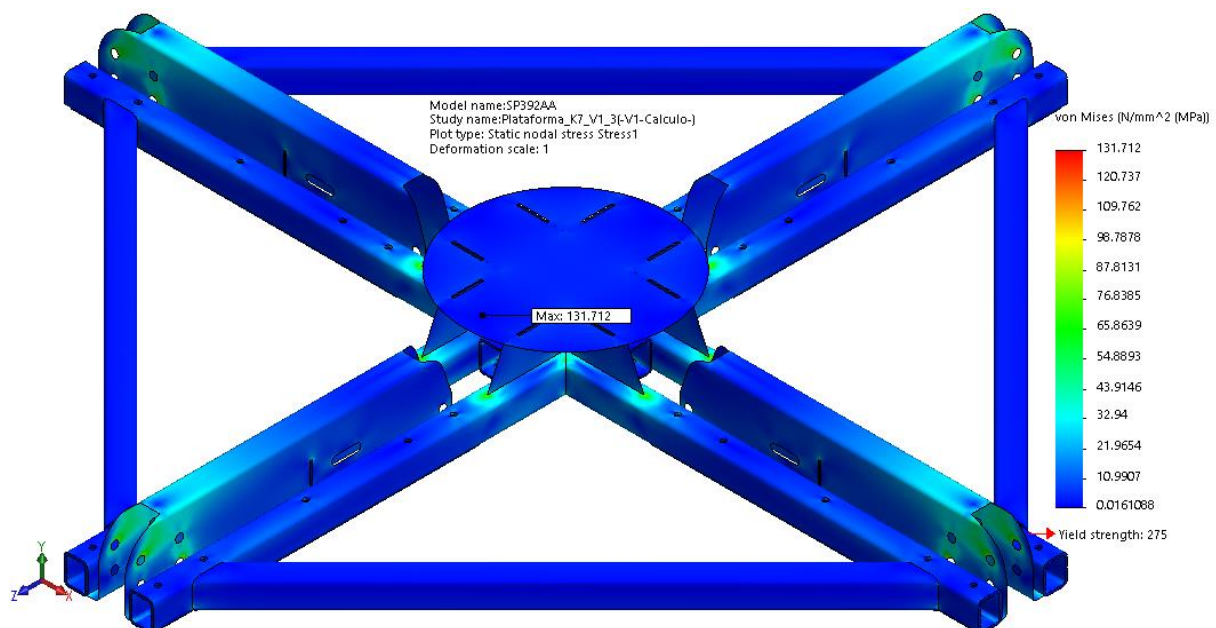


Figura A.33 - Distribuição das tensões

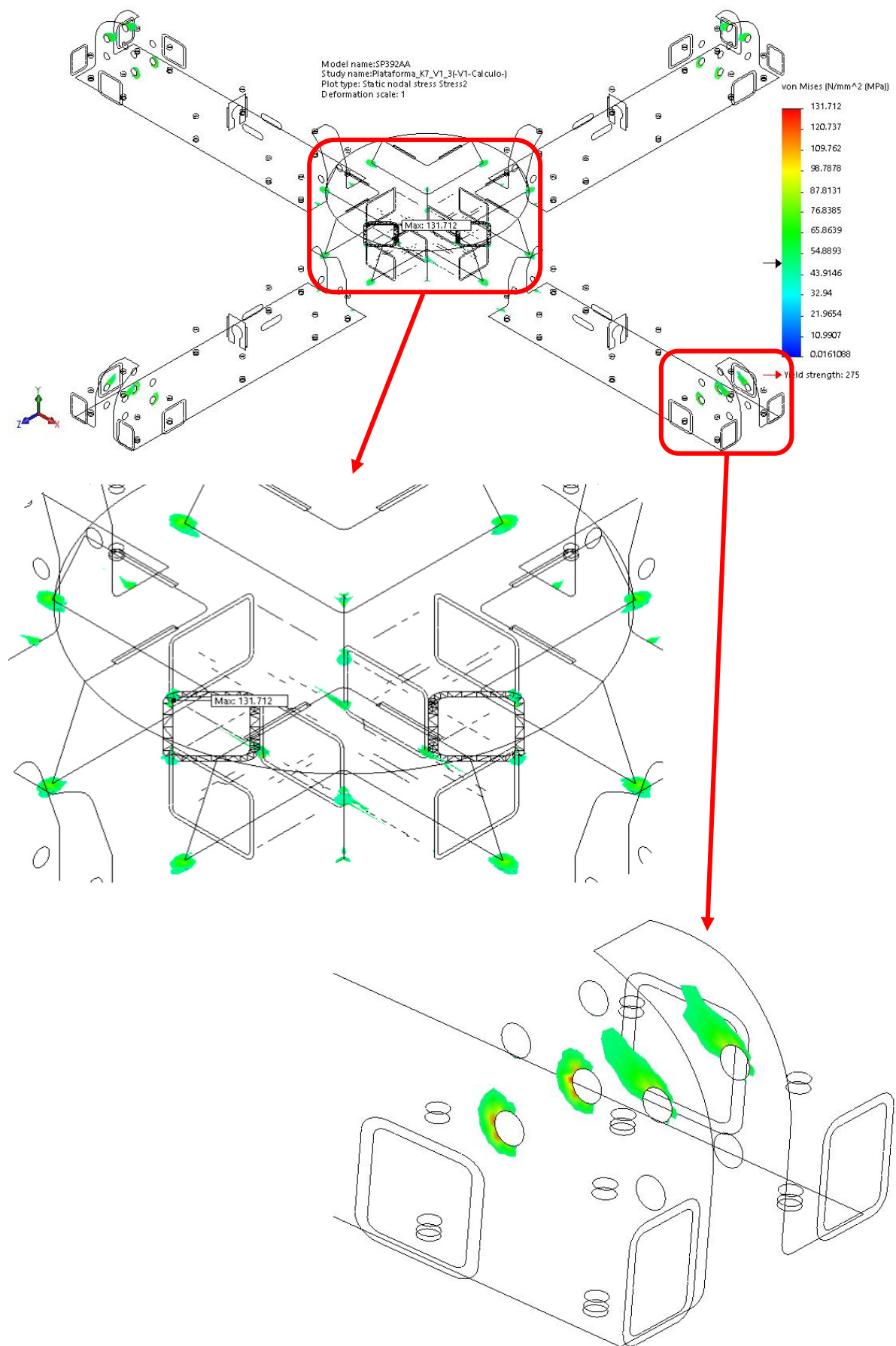


Figura A.34 - Distribuição das tensões superiores a 50MPa

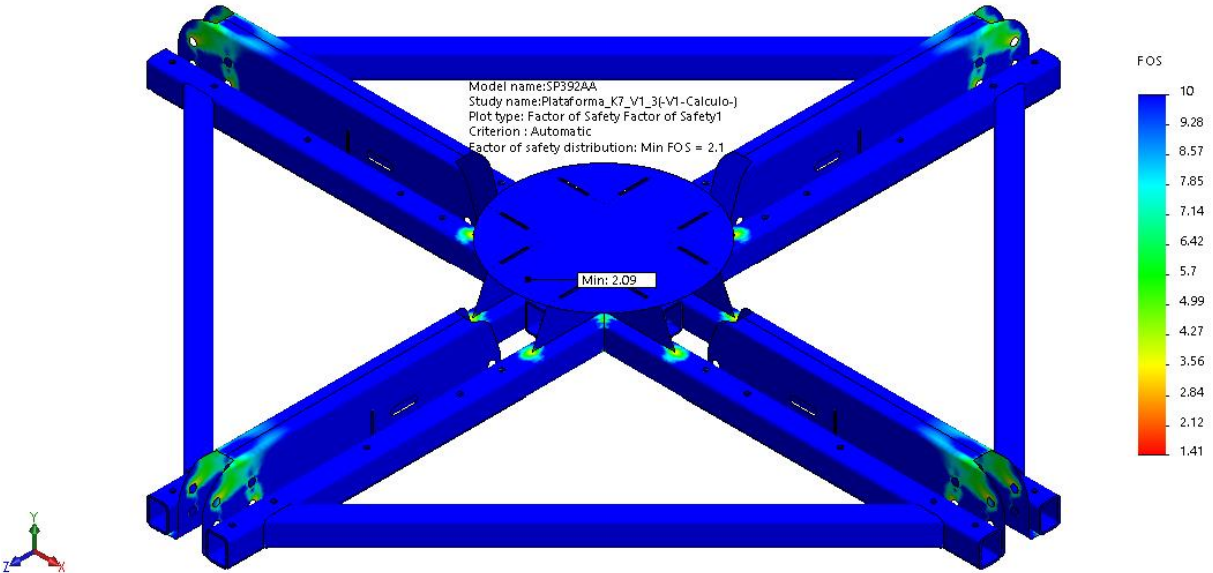


Figura A.35 - Distribuição do fator de segurança

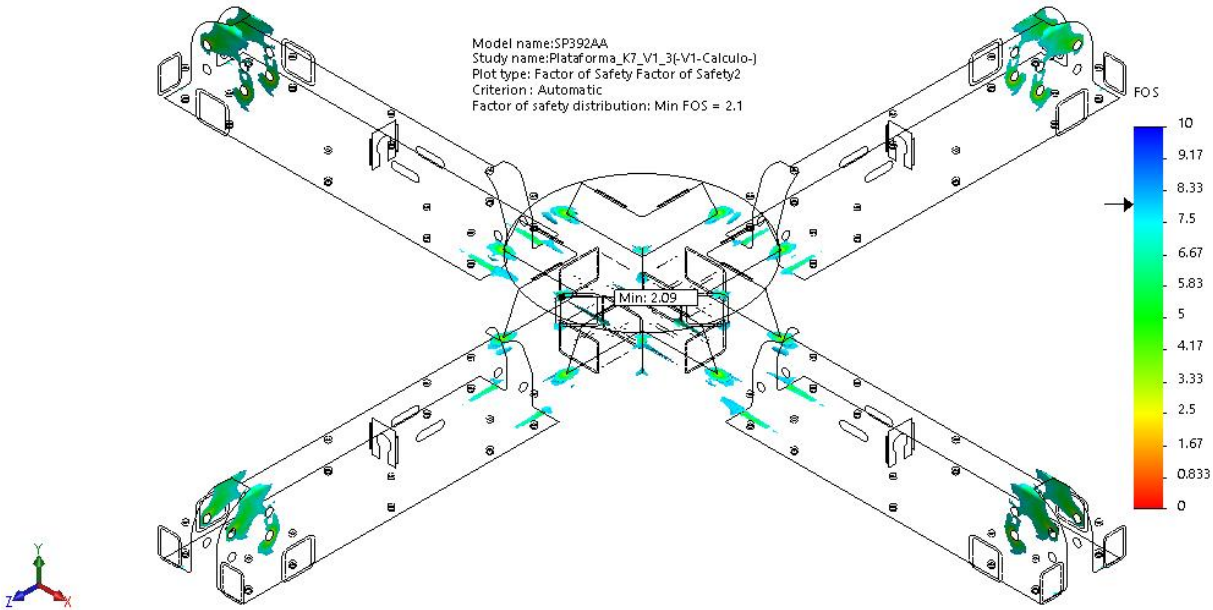


Figura A.36 - Distribuição do fator de segurança inferior a 8

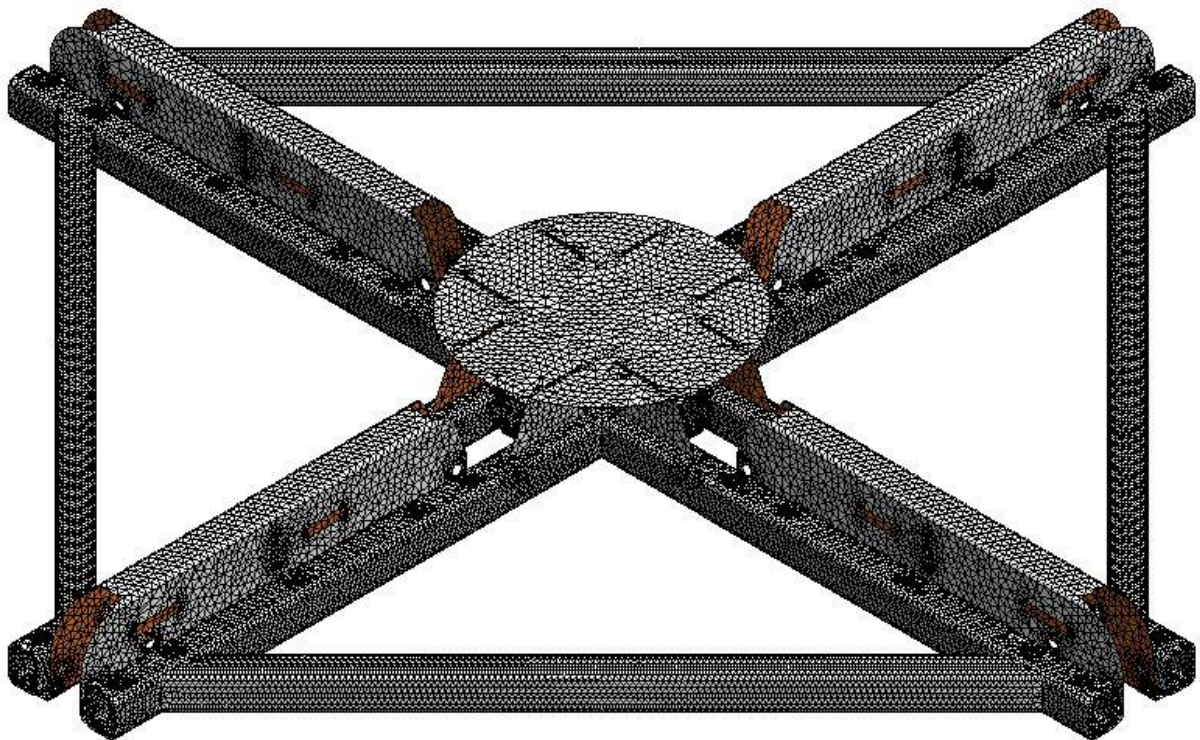
A.2.4. Ensaio da plataforma de segurança com a 4ª versão da K7

Figura A.37 - Aspeto da malha convergida

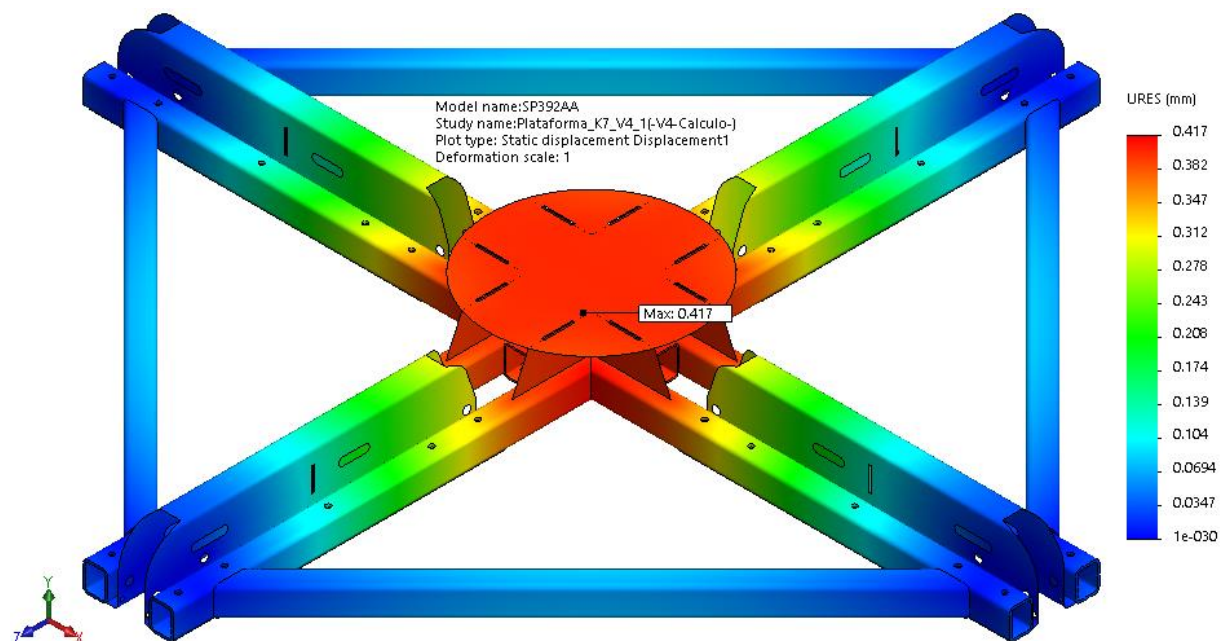


Figura A.38 - Distribuição dos deslocamentos resultantes

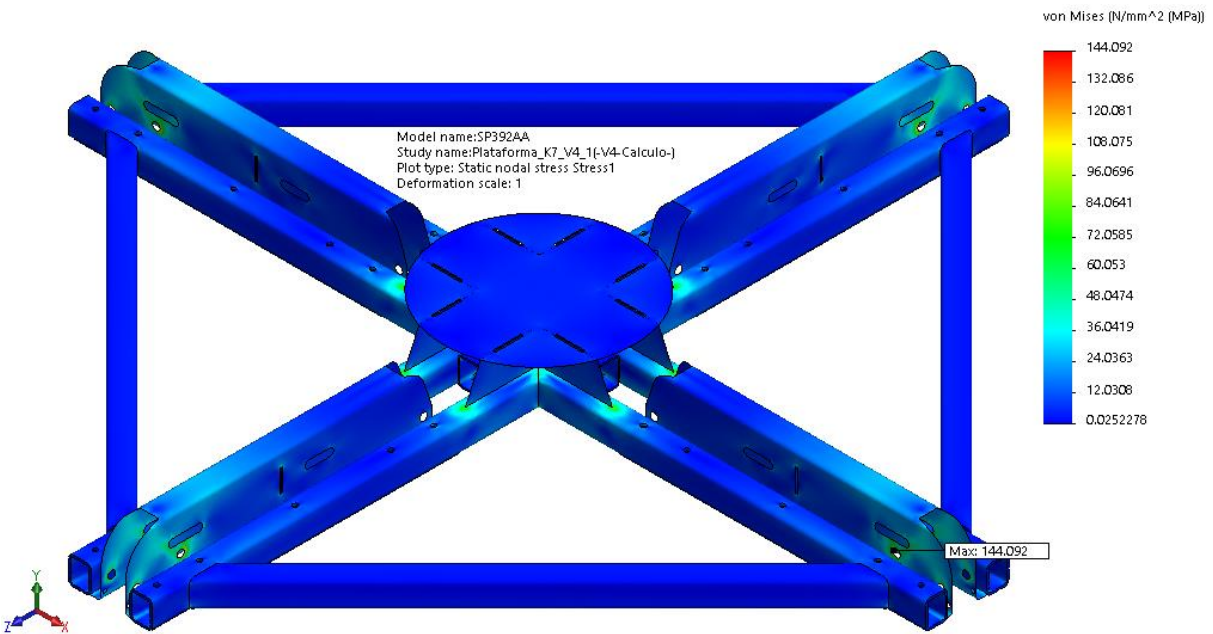


Figura A.39 - Distribuição das tensões

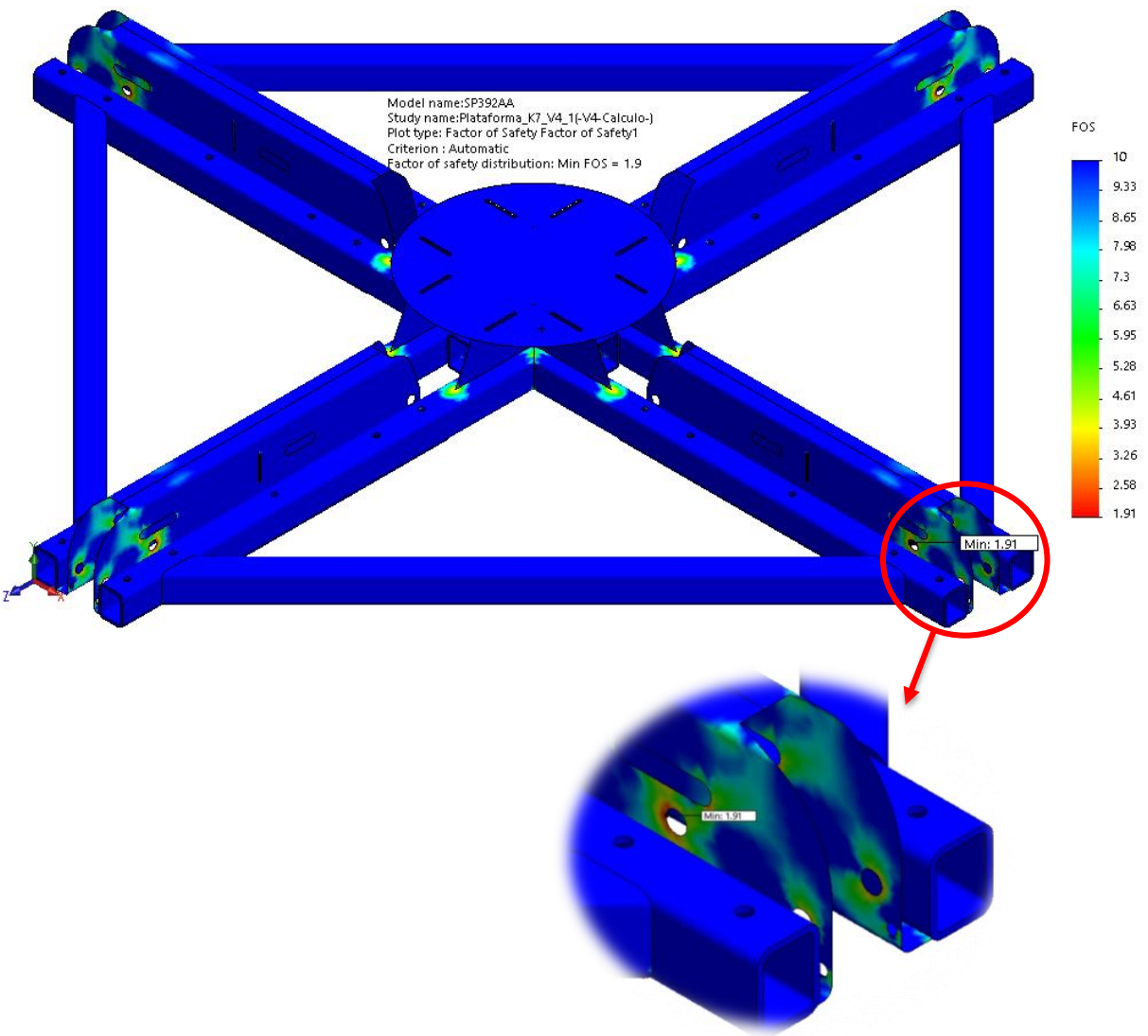


Figura A.40 - Distribuição do fator de segurança

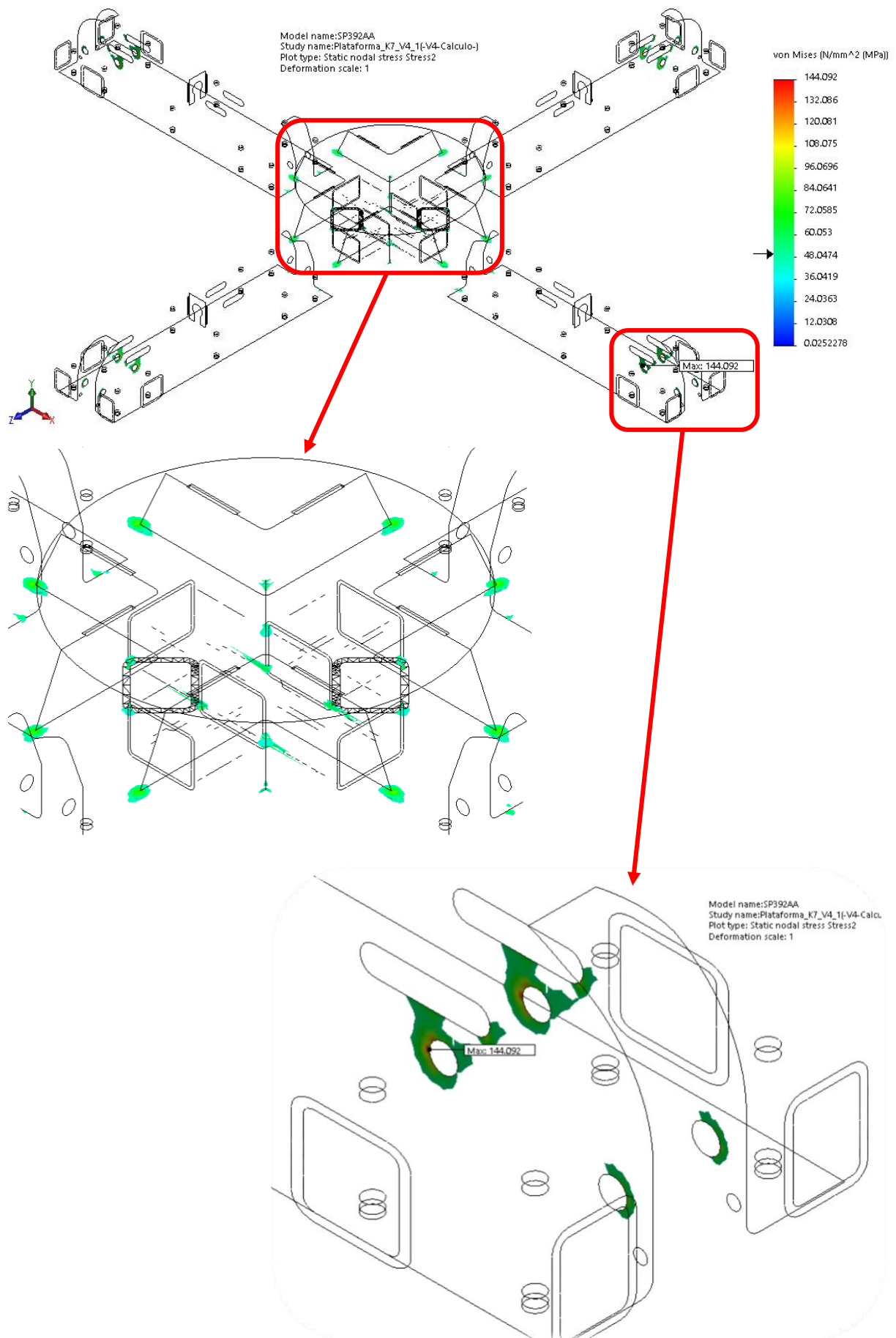


Figura A.41 - Distribuição das tensões superiores a 50MPa

A.2.5. Ensaio da plataforma de segurança com carga excêntrica

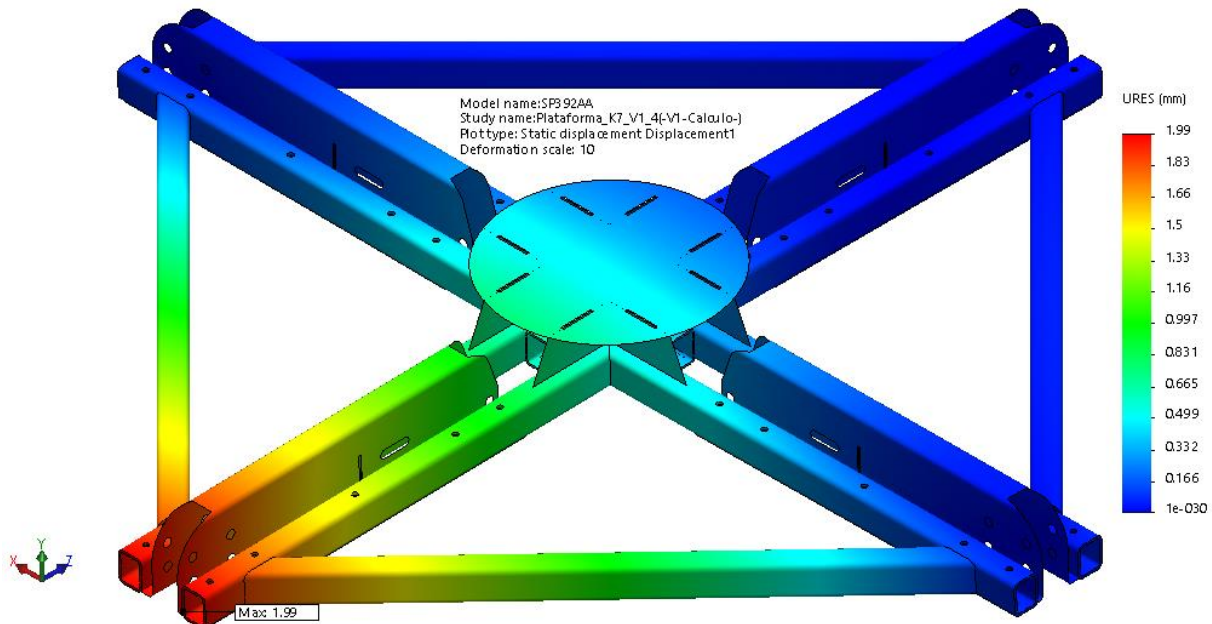


Figura A.42 - Distribuição dos deslocamentos resultantes

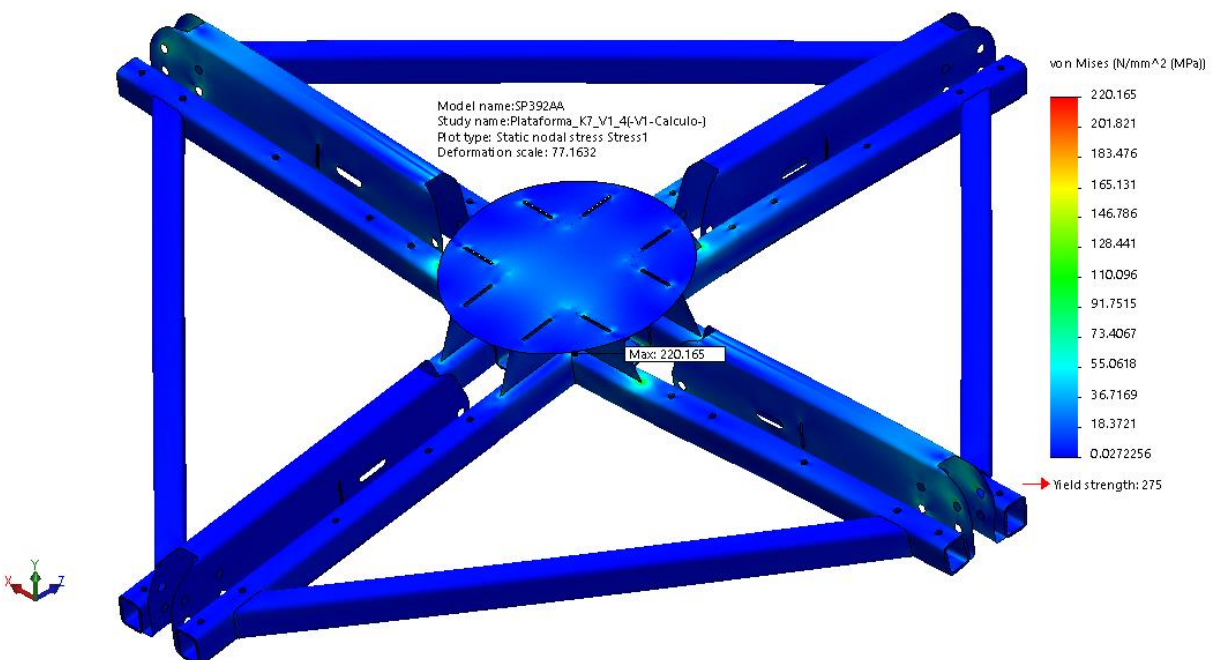


Figura A.43 - Distribuição das tensões

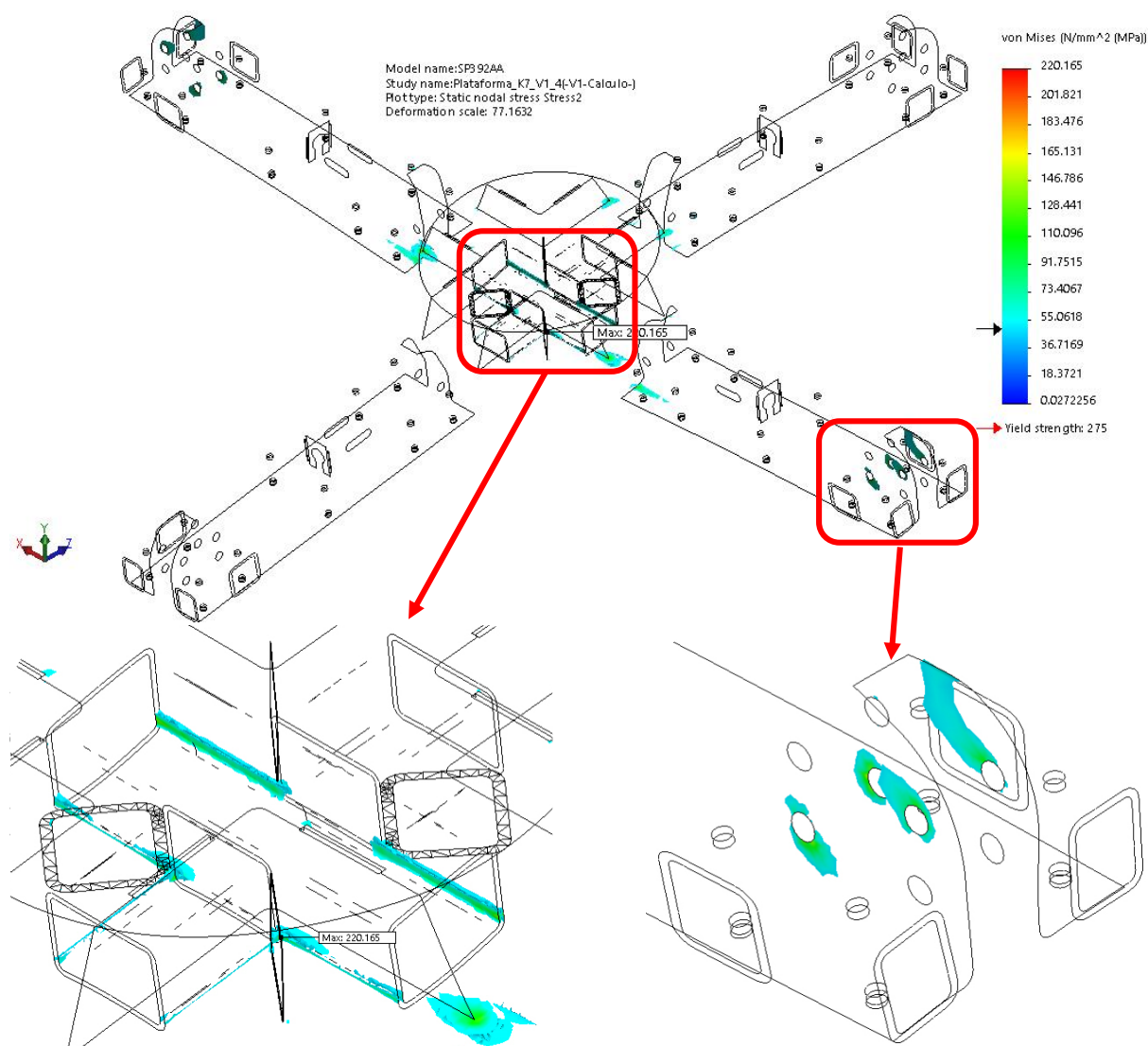


Figura A.44 - Distribuição das tensões superiores a 50 MPa

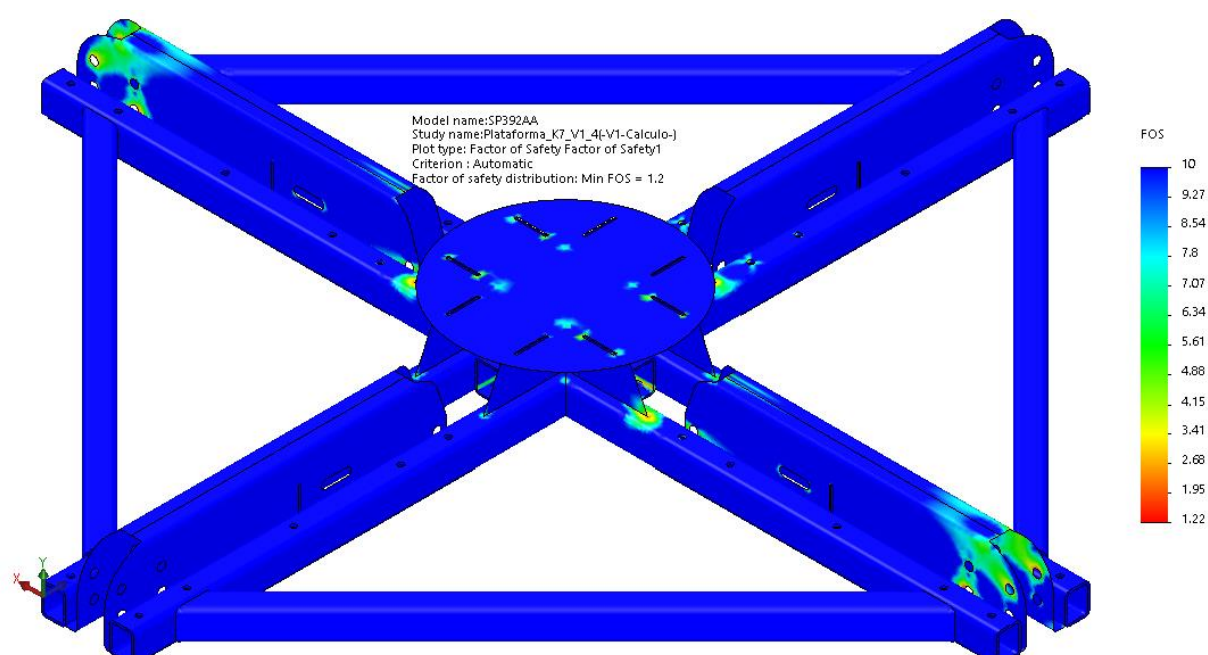


Figura A.45 - Distribuição do fator de segurança

A.2.6. Ensaio do ferrolho

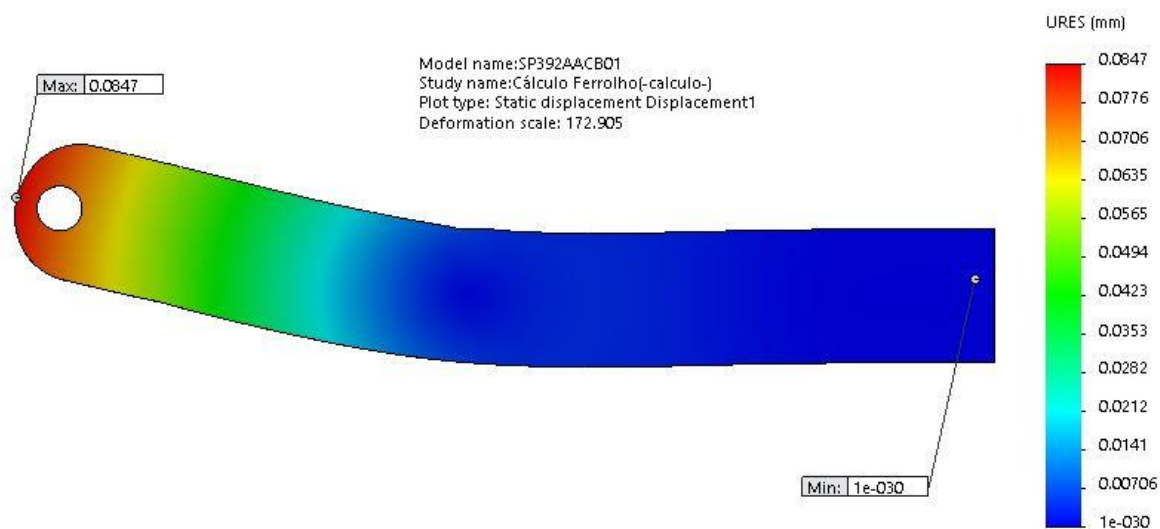


Figura A.46 - Distribuição dos deslocamentos resultantes

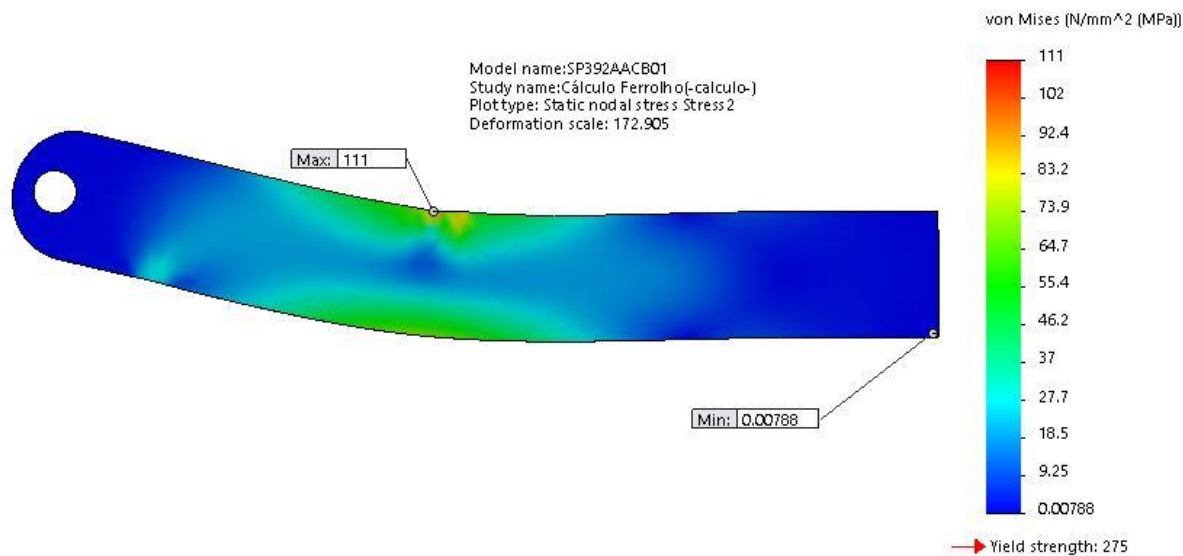


Figura A.47 - Distribuição das tensões

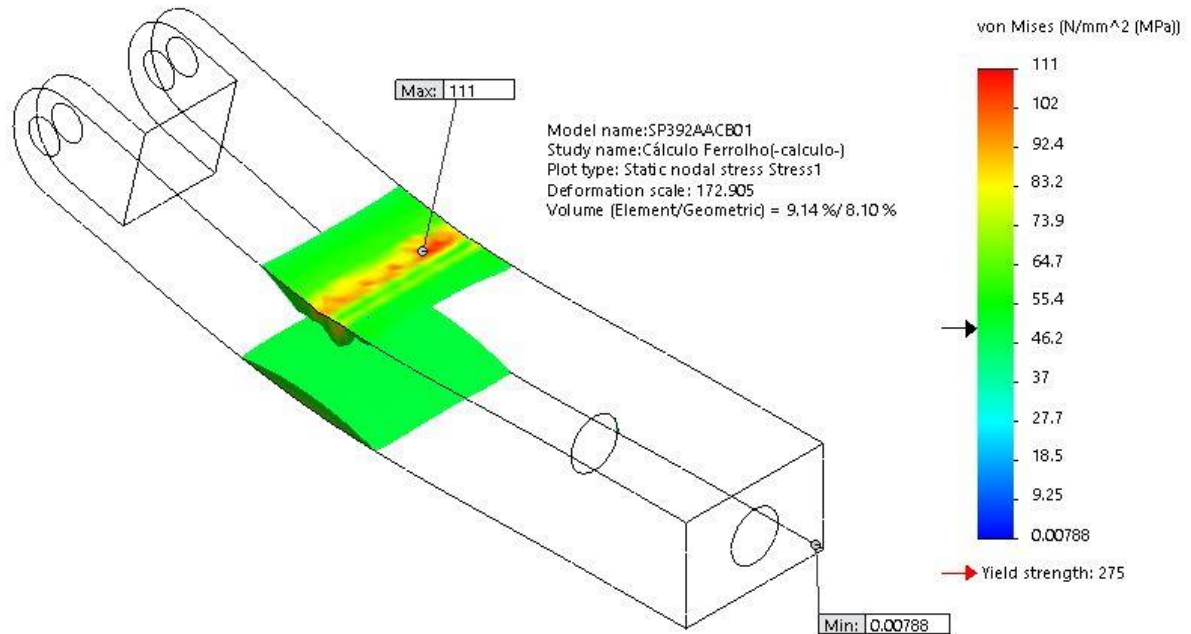


Figura A.48 - Distribuição das tensões superiores a 50MPa

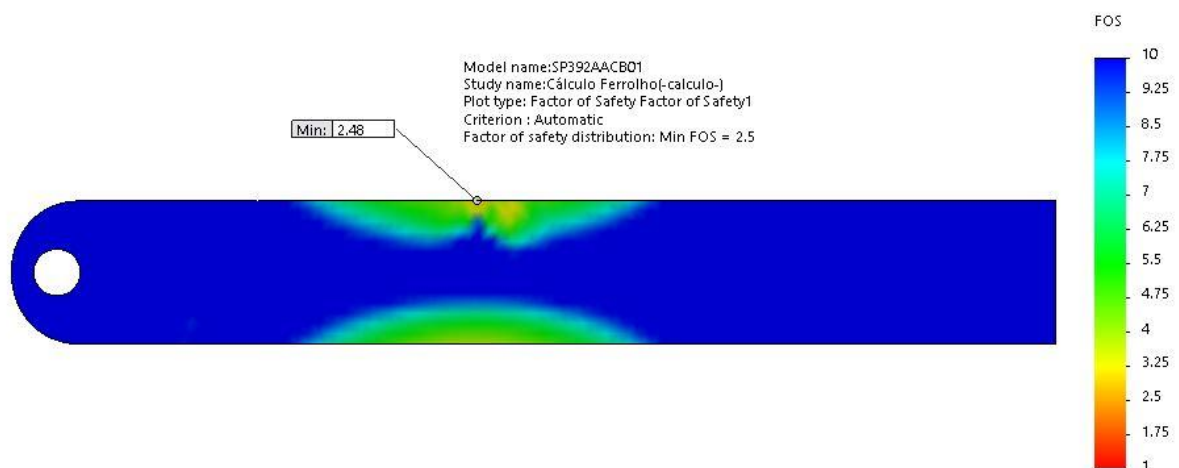


Figura A.49 - Distribuição do fator de segurança

A.2.7. Ensaio do balancete



Figura A.50 - Aspeto da malha convergida

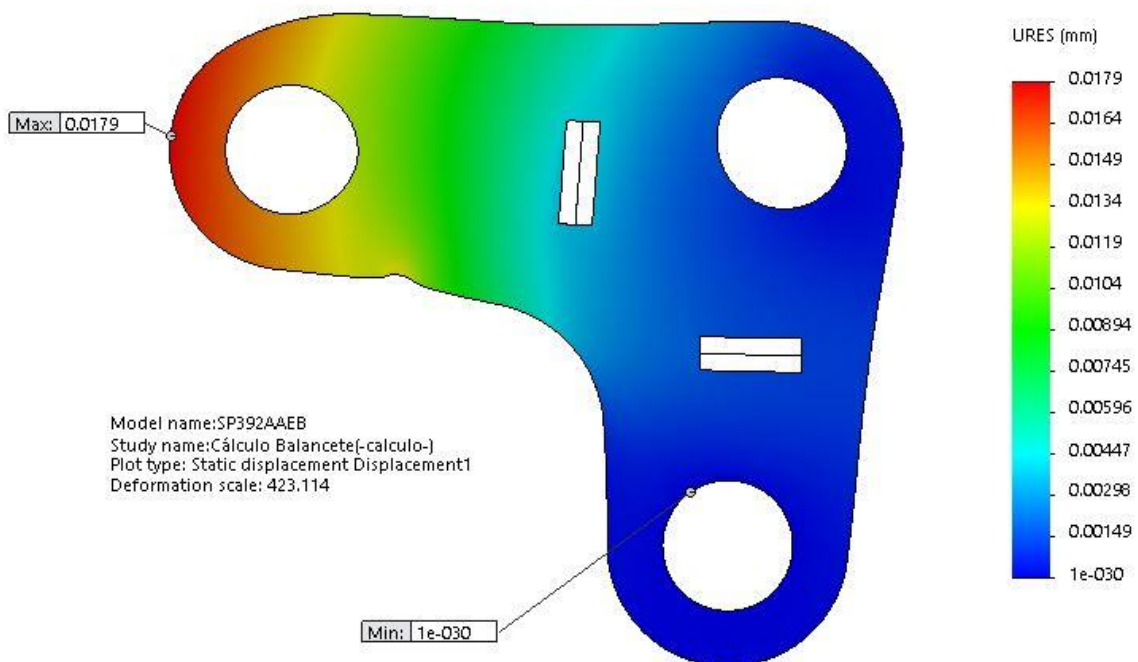


Figura A.51 - Distribuição dos deslocamentos resultantes

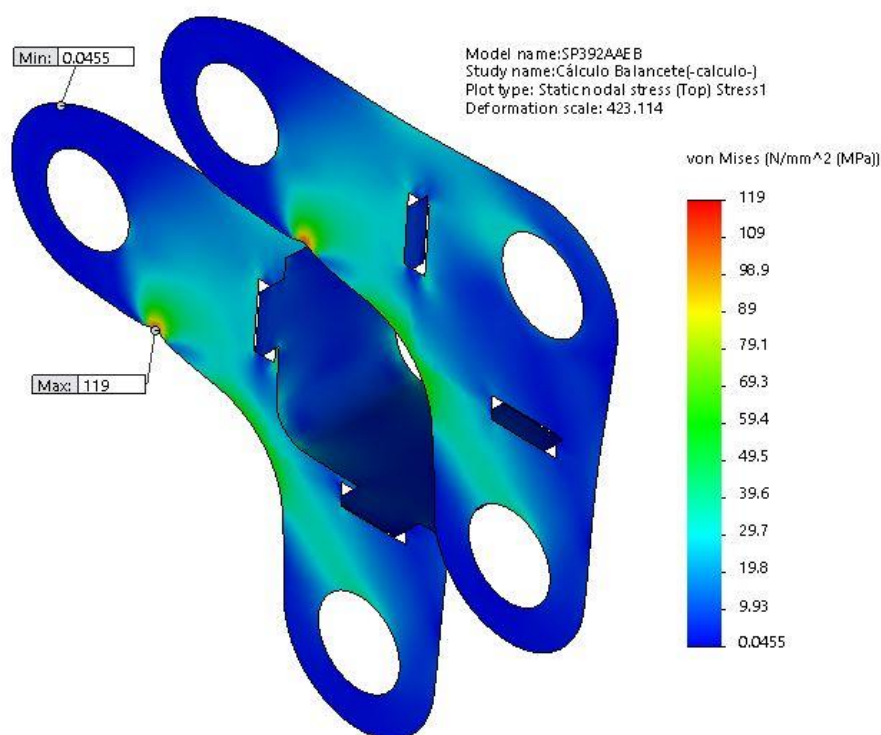


Figura A.52 - Distribuição das tensões

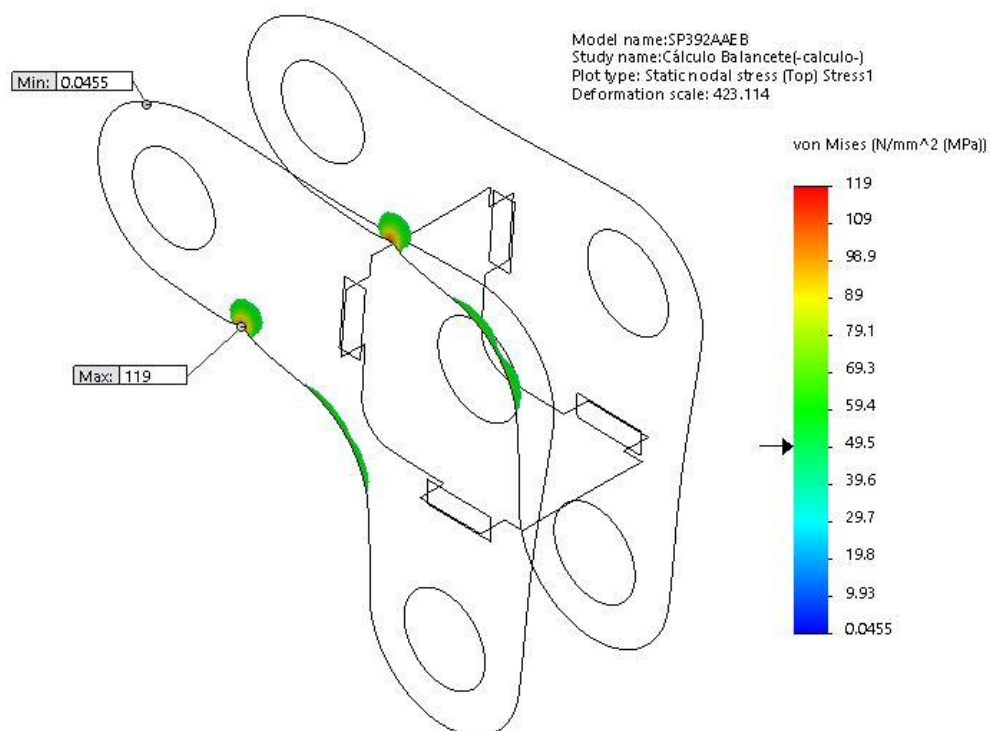


Figura A.53 - Distribuição das tensões superiores a 50MPa

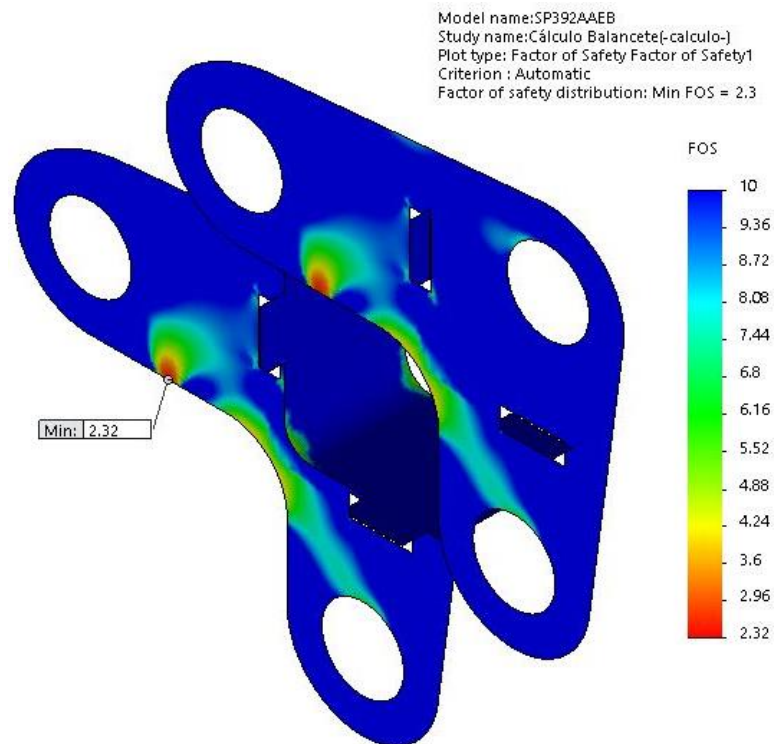


Figura A.54 - Distribuição do fator de segurança

A.2.8. Conclusão 2º capítulo

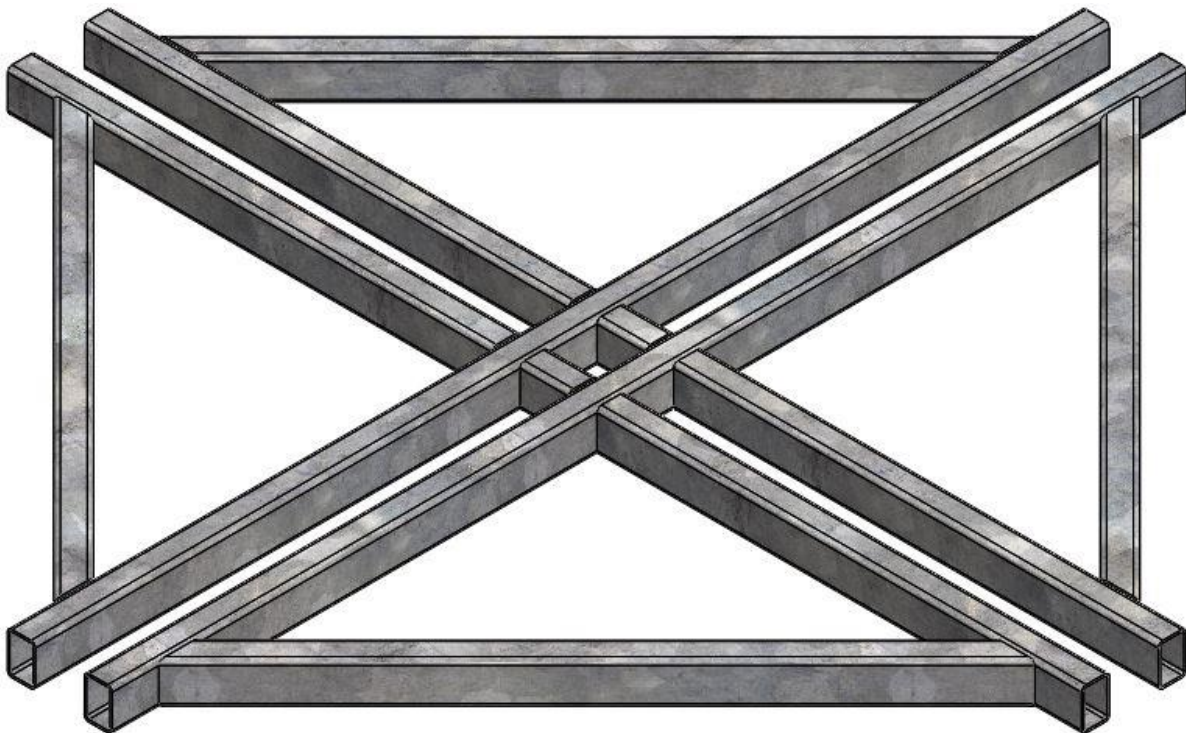


Figura A.55 - Estrutura tubular melhorada

A.3. Figuras complementares do 3º Capítulo

A.3.1. Ensaio do *quick* com sistema *Kinshofer*

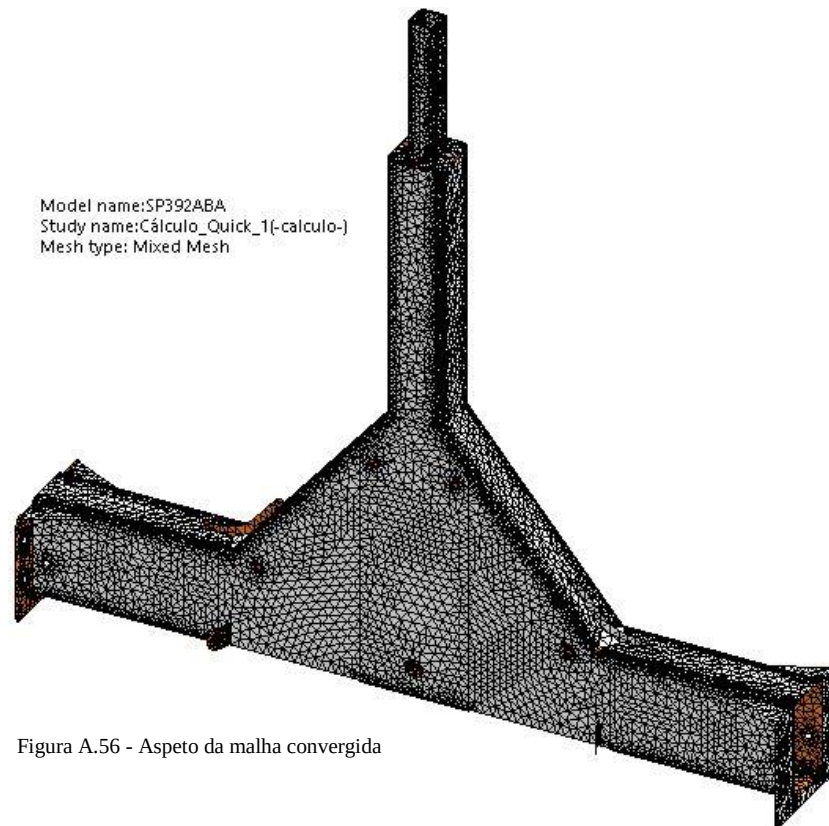


Figura A.56 - Aspetto da malha convergida

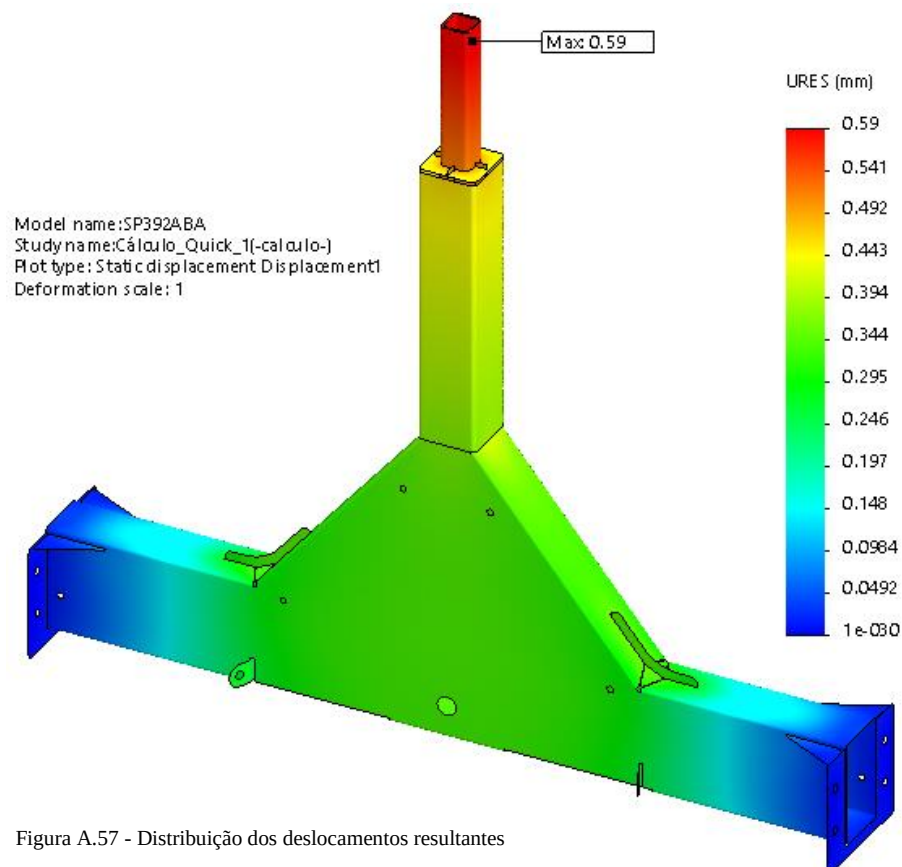


Figura A.57 - Distribuição dos deslocamentos resultantes

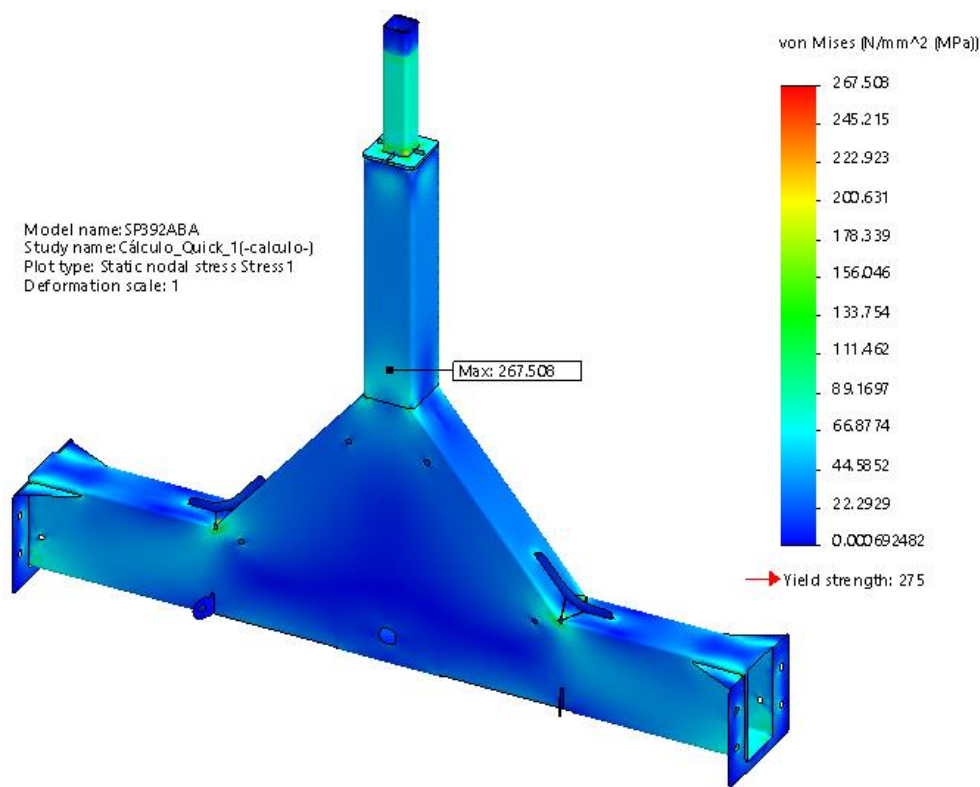


Figura A.58 - Distribuição das tensões

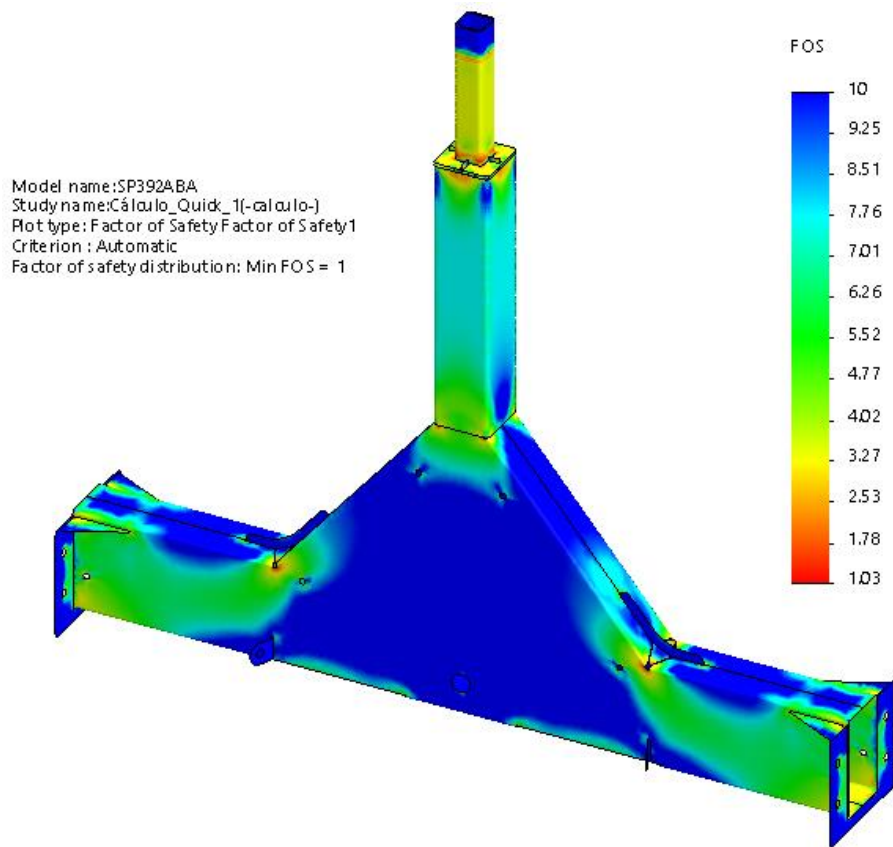


Figura A.59 - Distribuição do fator de segurança

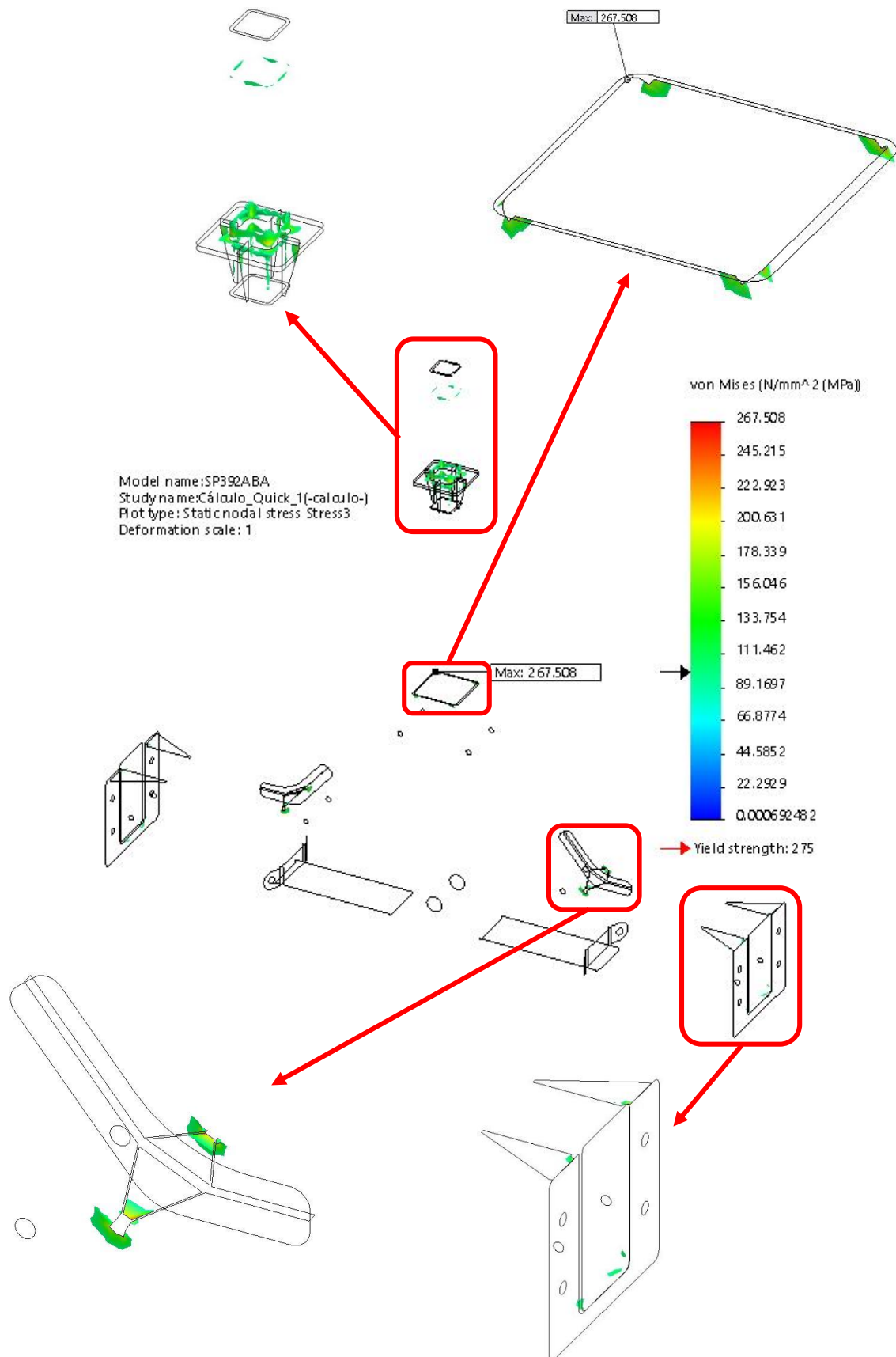


Figura A.60 - Distribuição das tensões superiores a 100 MPa

A.3.2. Ensaio do *quick* com sistema de argola simples

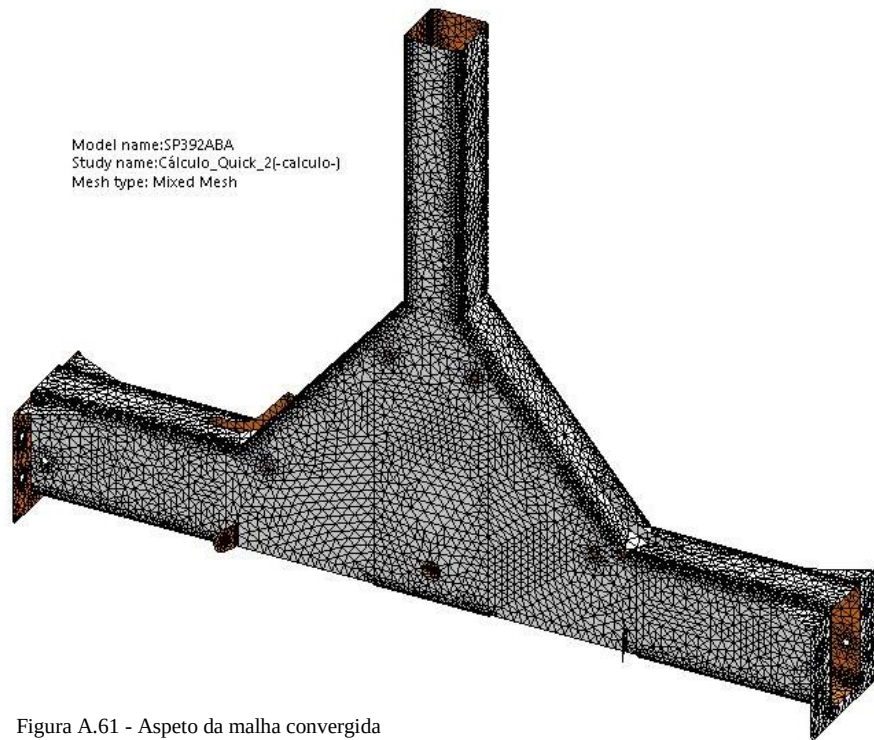


Figura A.61 - Aspetto da malha convergida

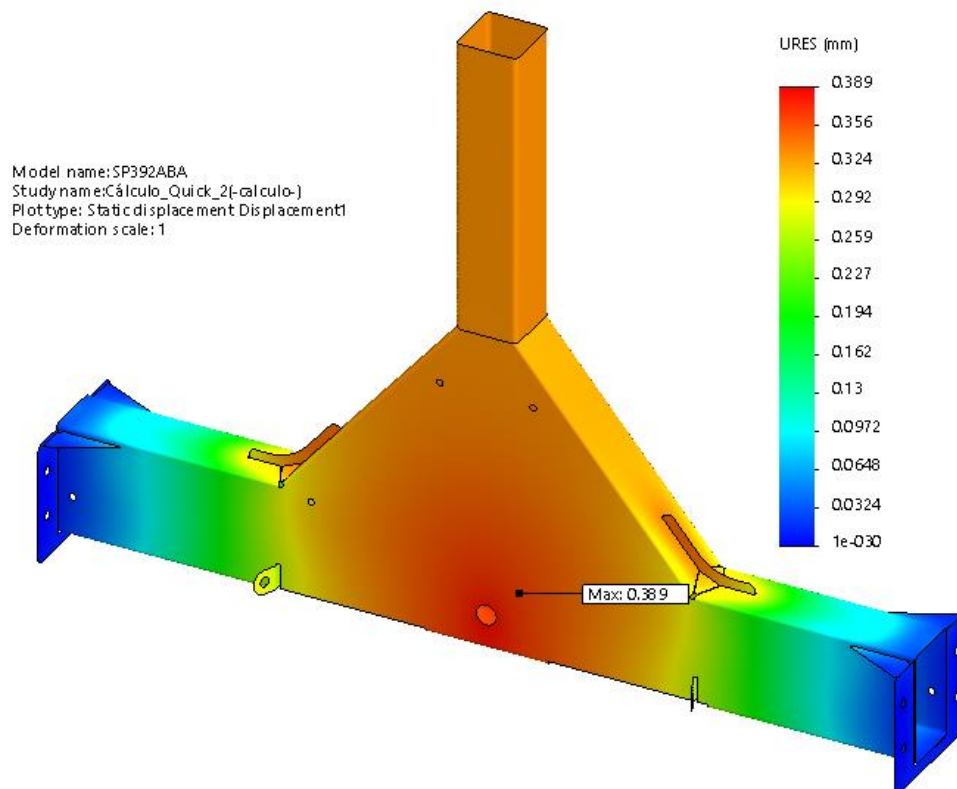


Figura A.62 - Distribuição dos deslocamentos resultantes

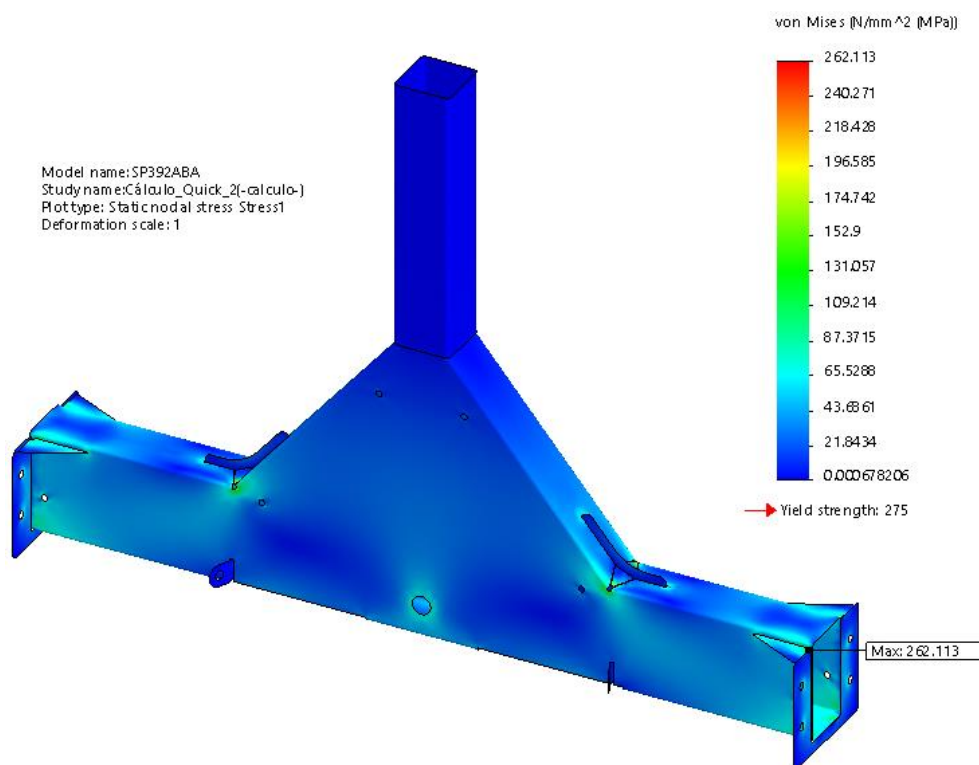


Figura A.63 - Distribuição das tensões

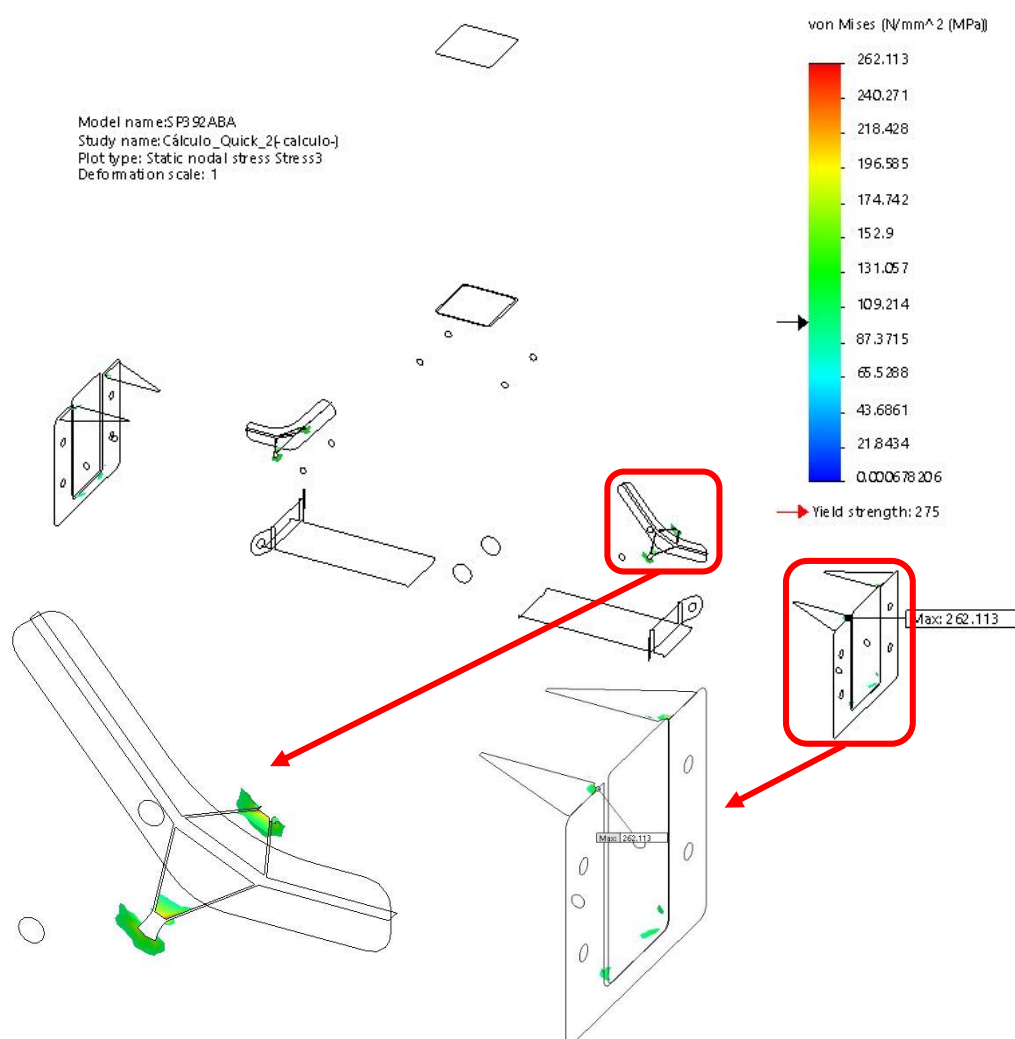


Figura A.64 - Distribuição das tensões superiores a 100 MPa

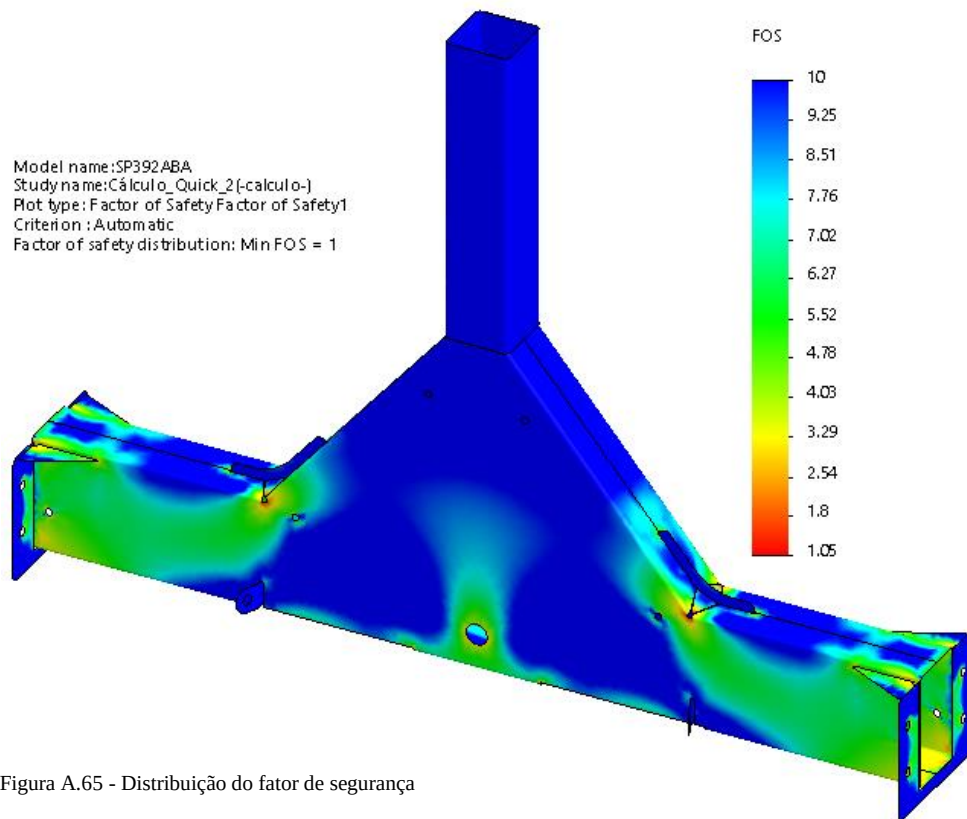


Figura A.65 - Distribuição do fator de segurança

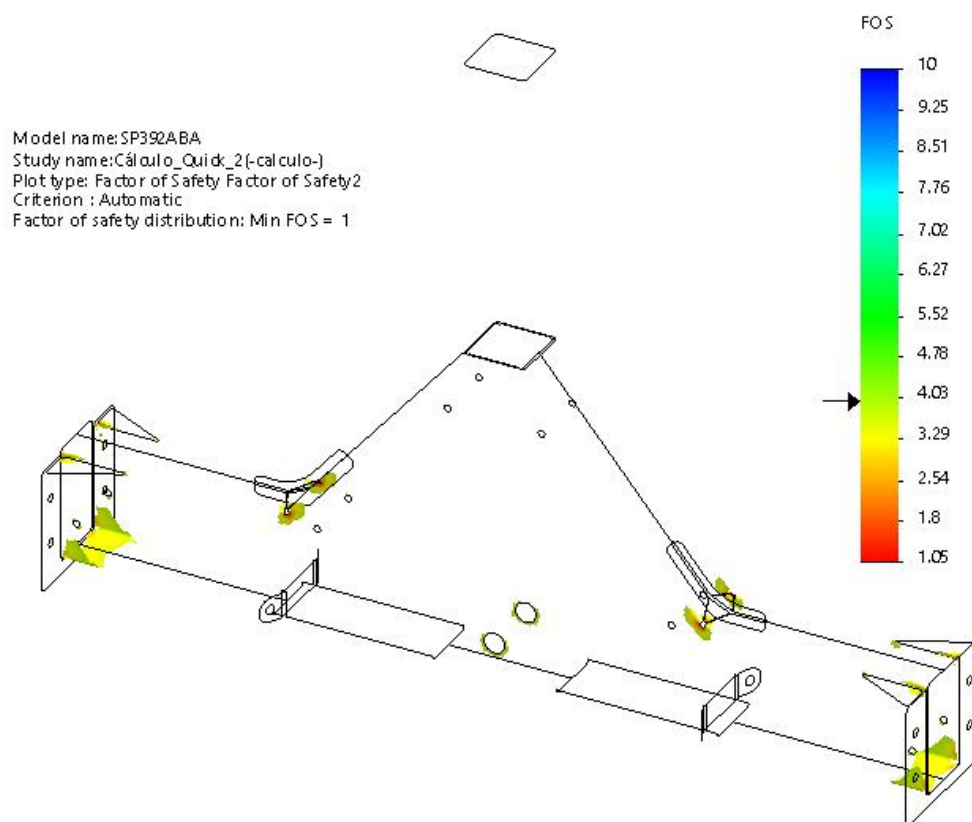


Figura A.66 - Distribuição do fator de segurança inferior a 4

A.3.3. Ensaio da haste extraível

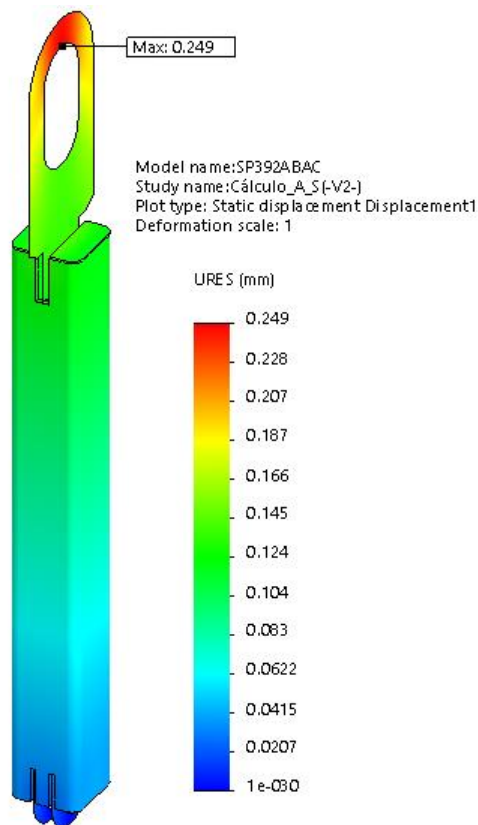


Figura A.67 - Distribuição dos deslocamentos resultantes

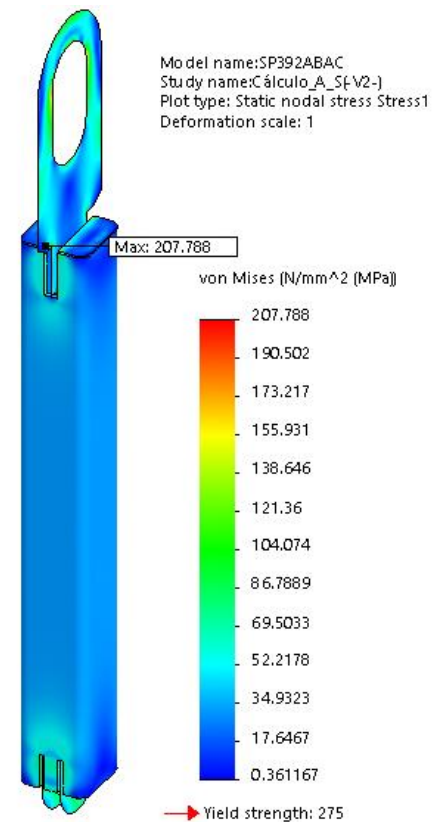


Figura A.68 - Distribuição das tensões

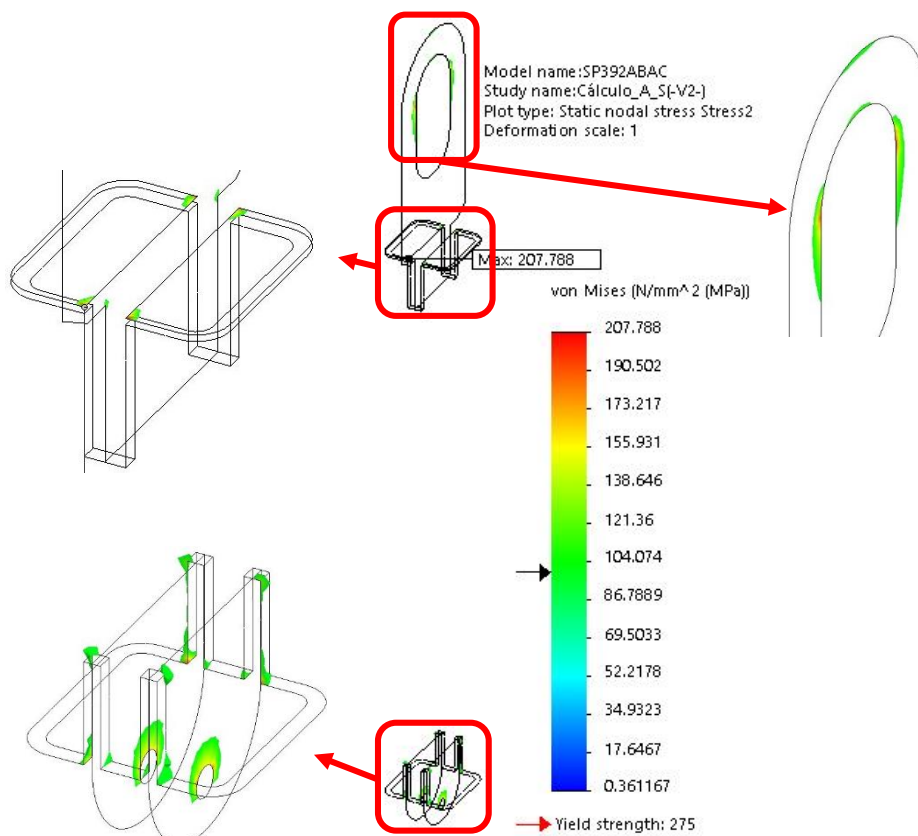


Figura A.69 - Distribuição das tensões superiores a 100 MPa

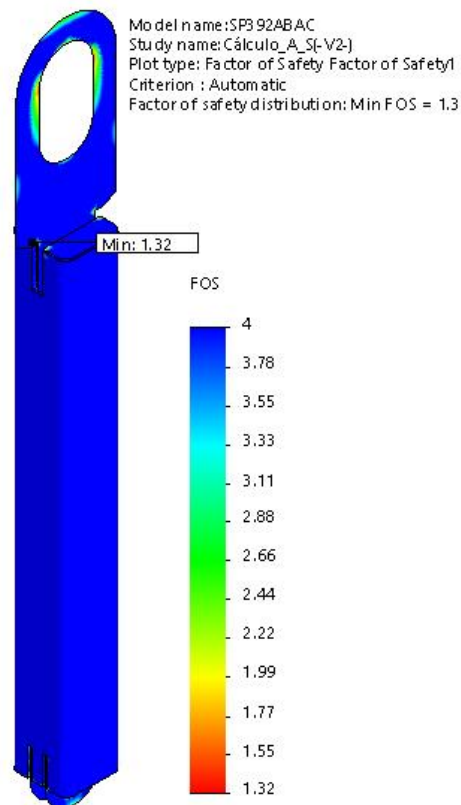


Figura A.70 - Distribuição do fator de segurança

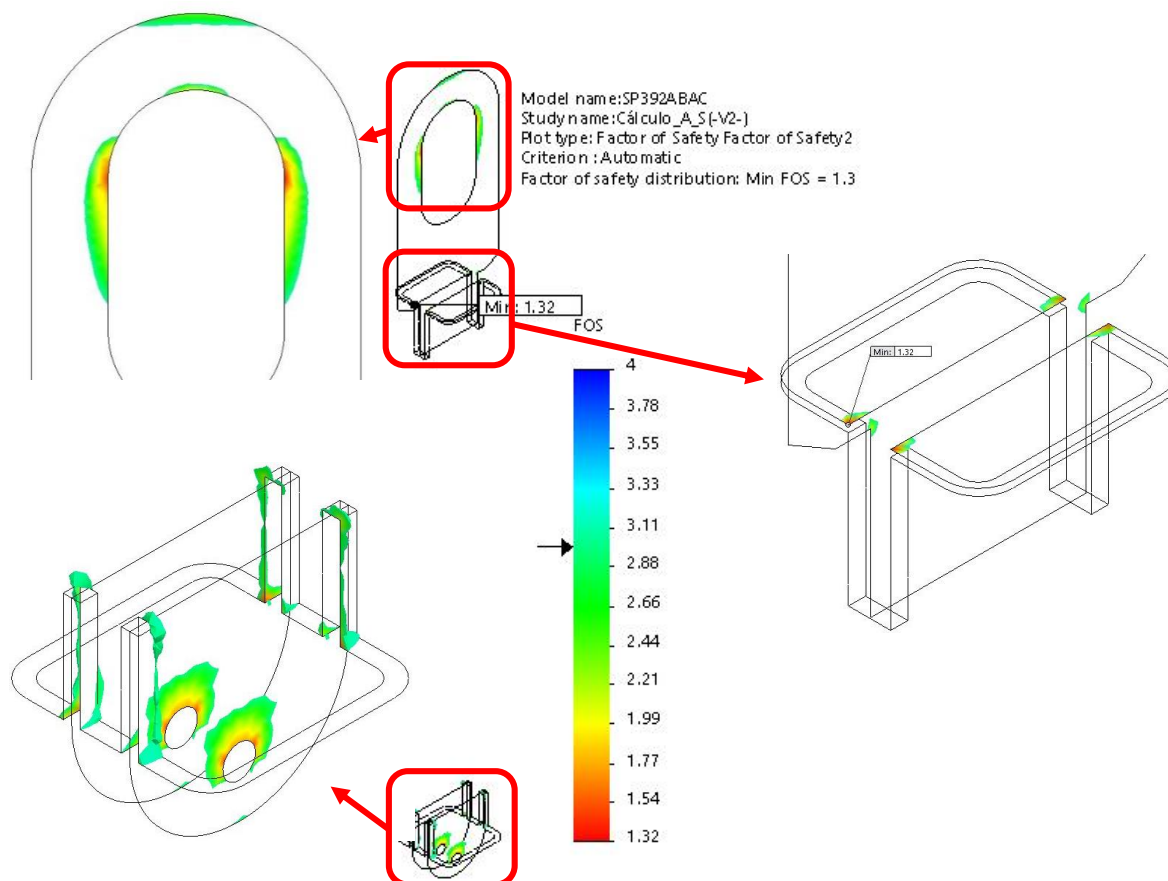


Figura A.71 - Distribuição do fator de segurança inferior a 3

A.3.4. Plataforma de Solo

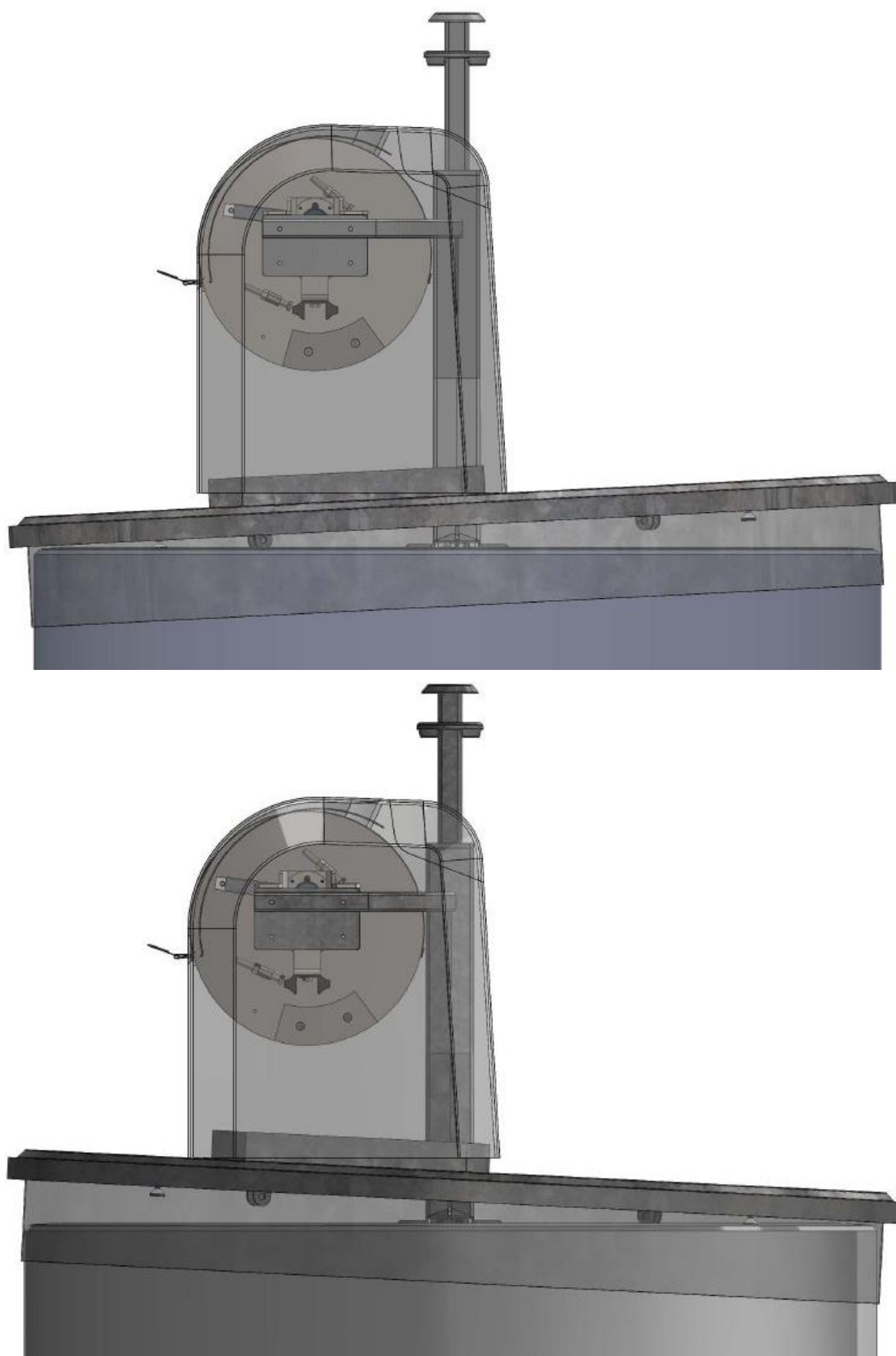


Figura A.72 - Contentor de RSU inclinado para a frente $\pm 5\%$

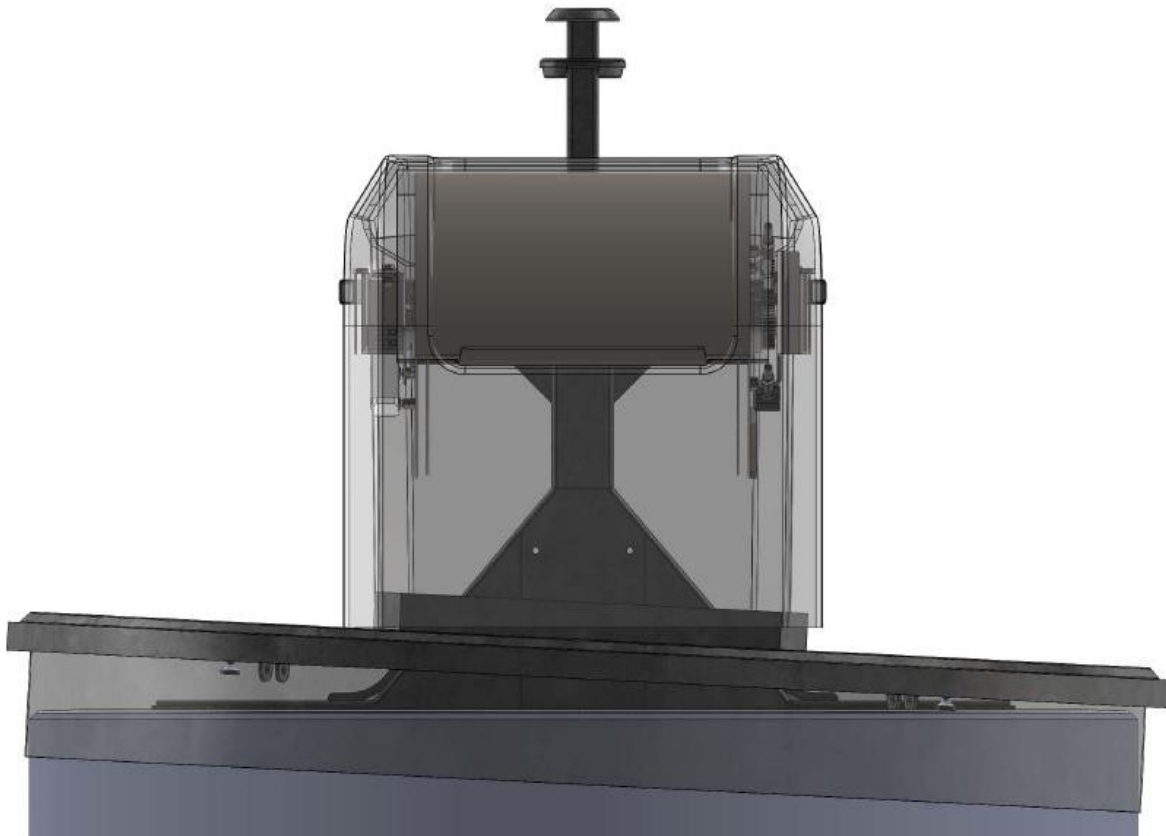


Figura A.73 - Contentor para RSU inclinado a 5% lateral

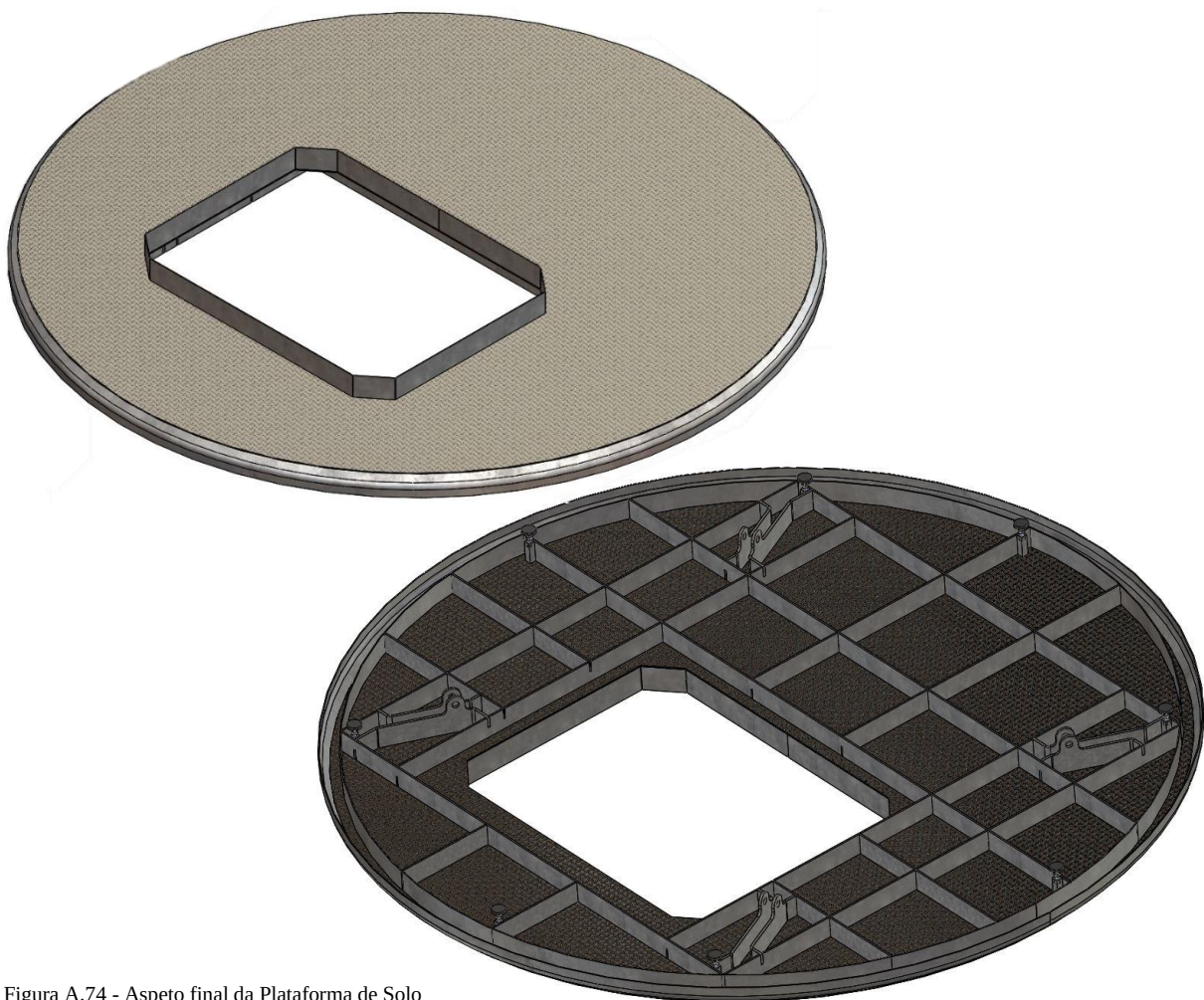


Figura A.74 - Aspeto final da Plataforma de Solo

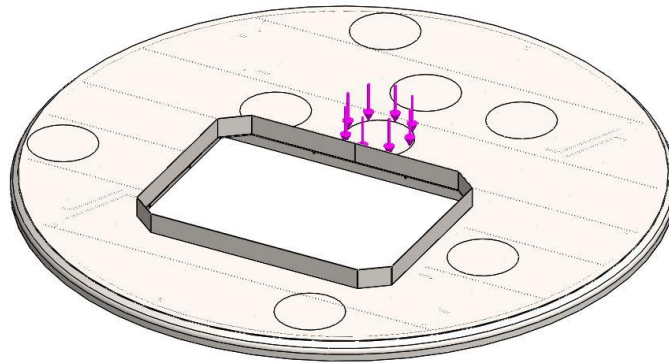
A.3.4.1. 1º Ensaio da plataforma de solo

Figura A.75 - Esforços considerados no cálculo. Setas de roxas – Localização e direção da força

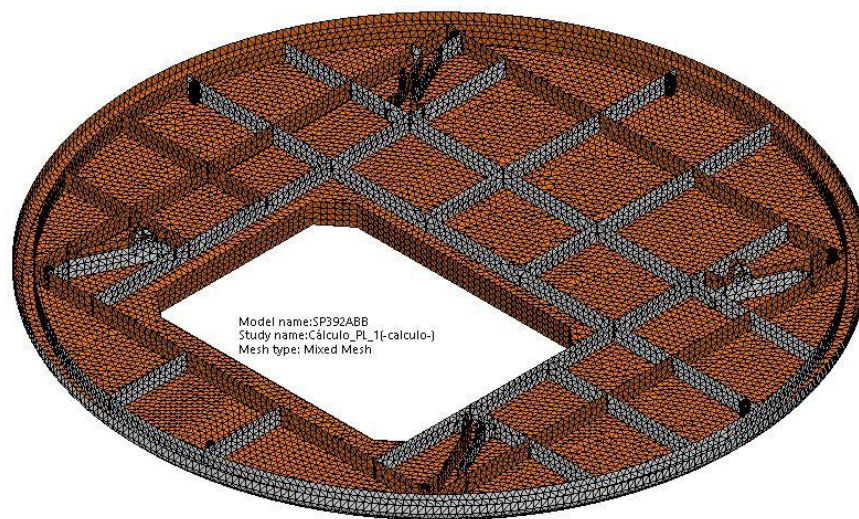


Figura A.76 - Aspetto da malha convergida

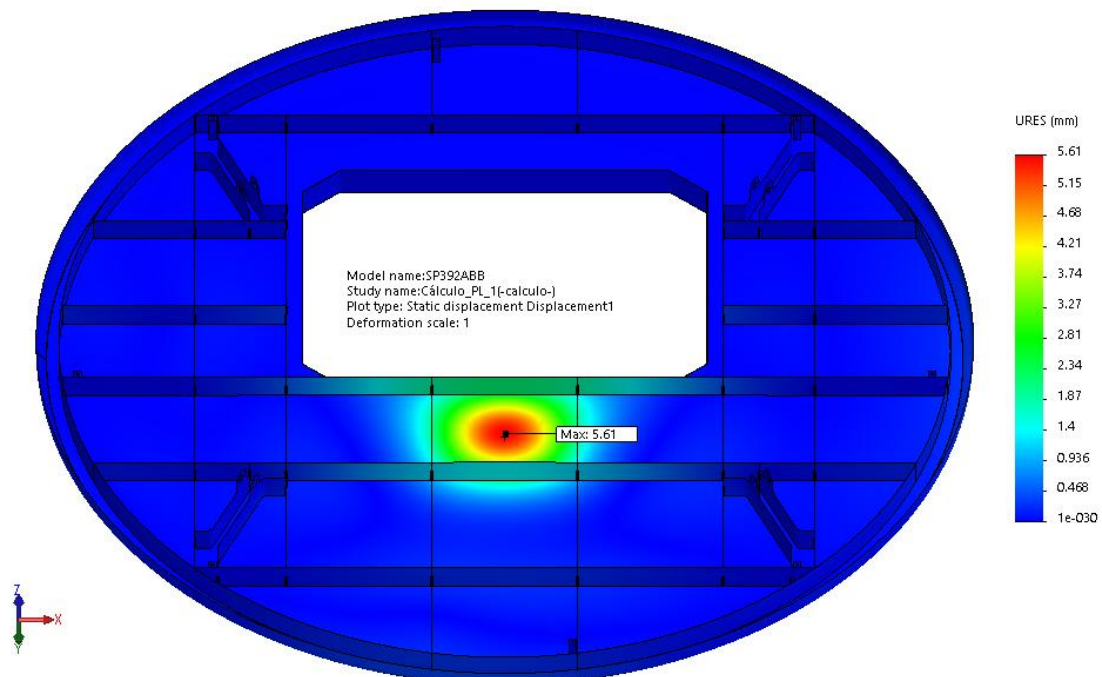


Figura A.77 - Distribuição dos deslocamentos resultantes

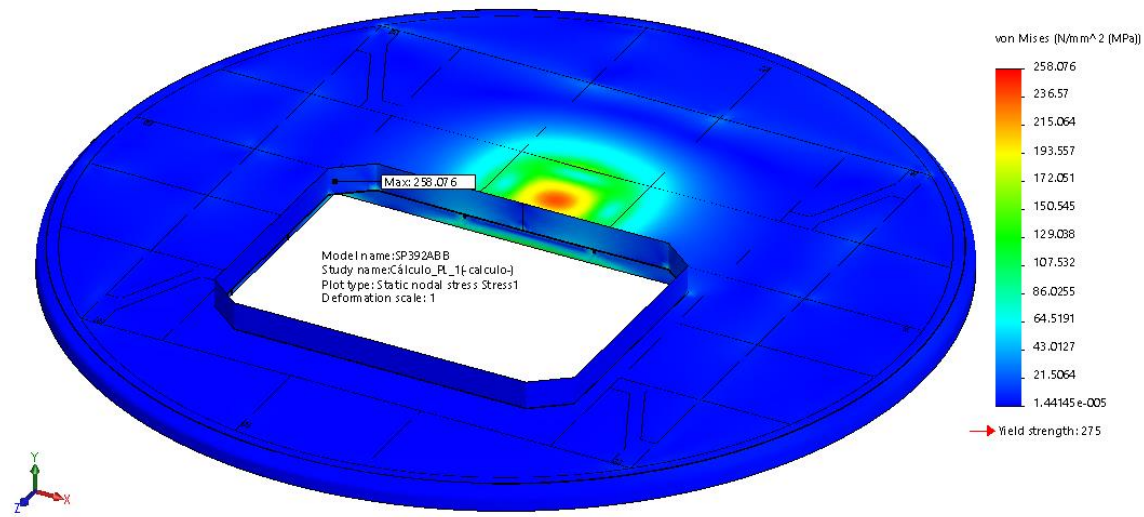


Figura A.78 - Distribuição das tensões

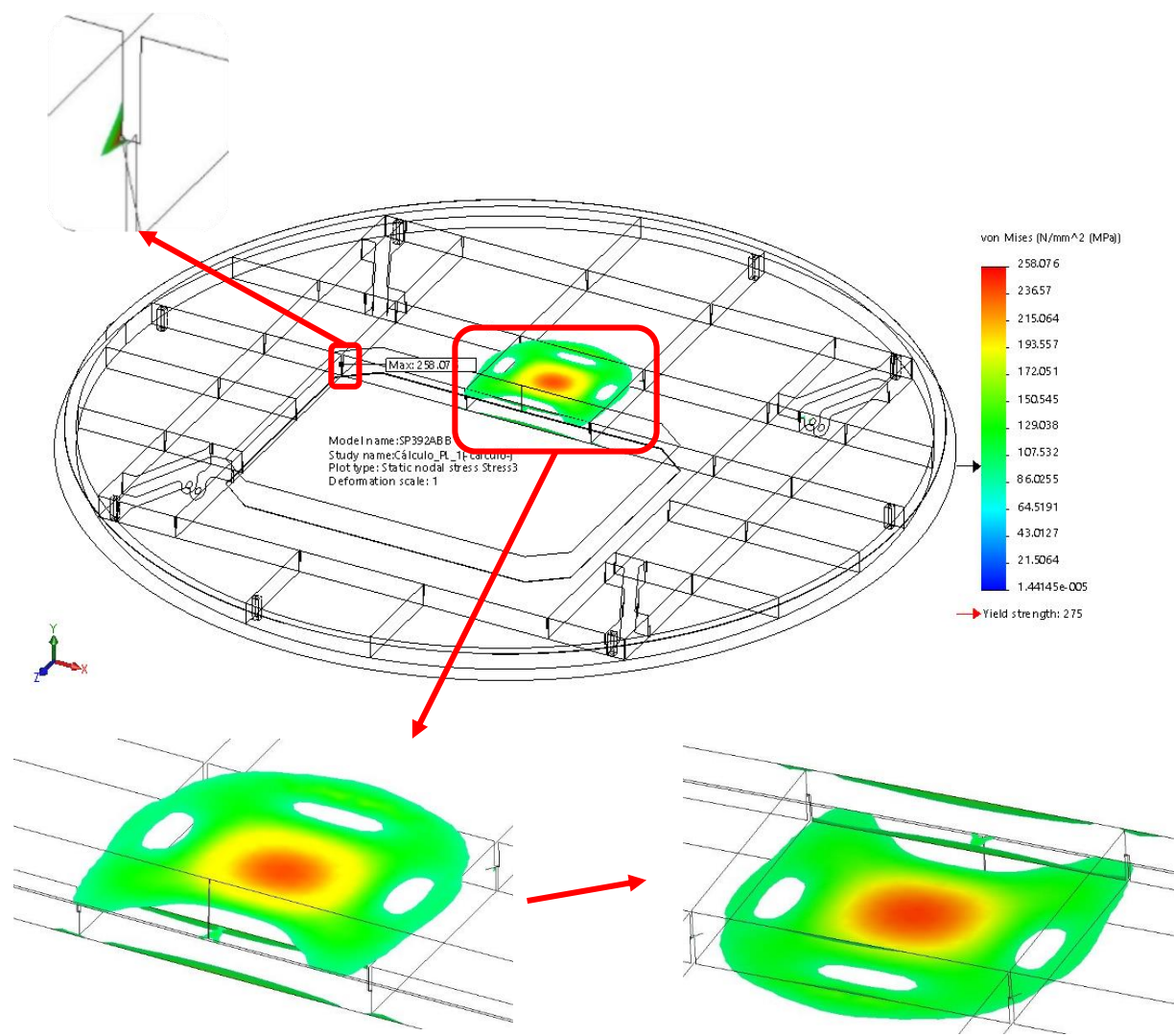


Figura A.79 - Distribuição das tensões superiores a 100 MPa

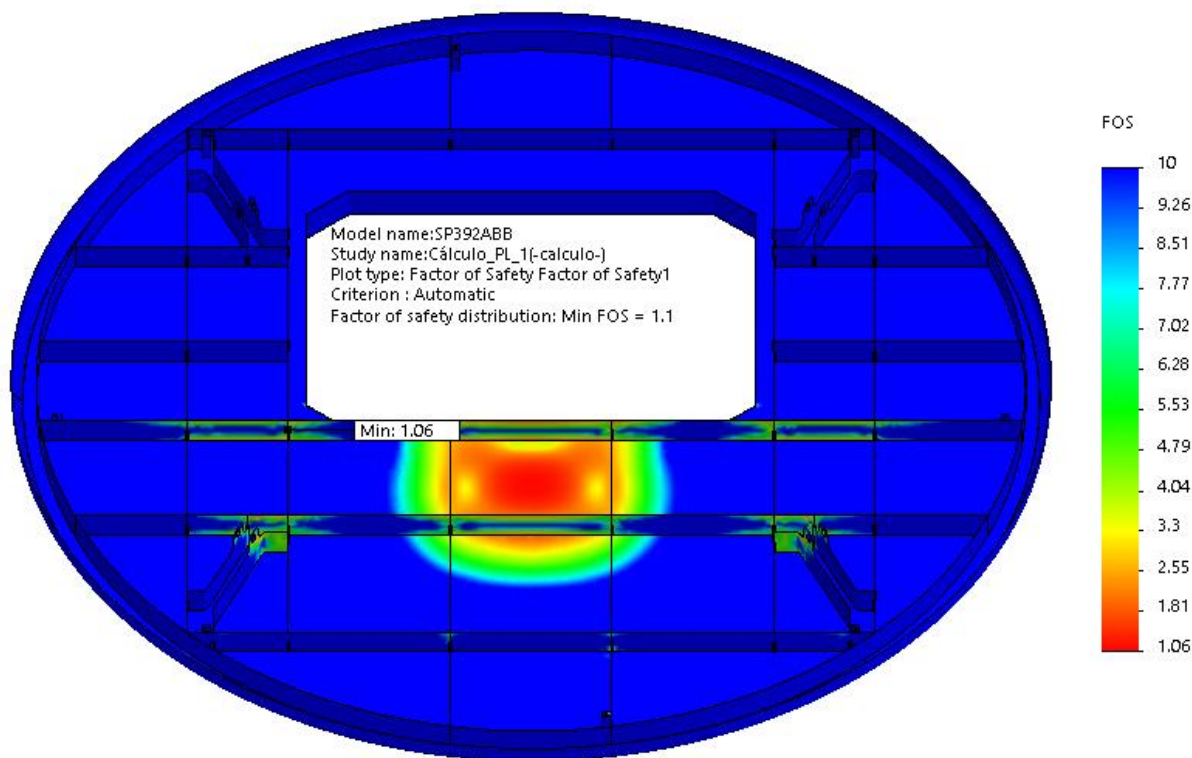


Figura A.80 - Distribuição do fator de segurança

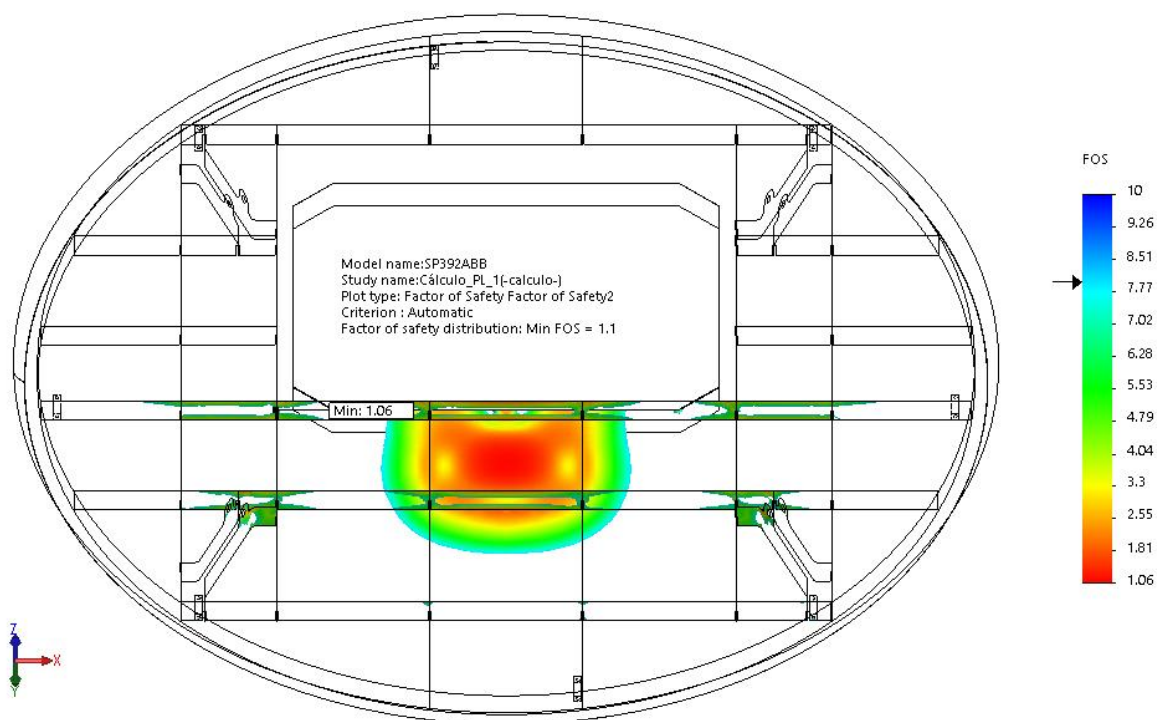


Figura A.81 - Distribuição do fator de segurança inferior a 8

A.3.4.2. 2º Ensaio da plataforma de solo

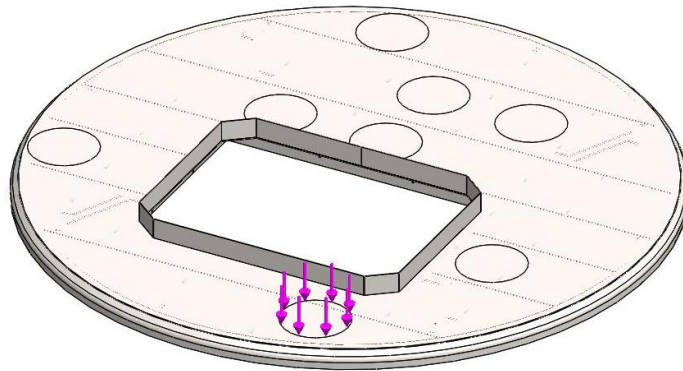


Figura A.82 - Esforços considerados no cálculo. Setas de roxas – Localização e direção da força

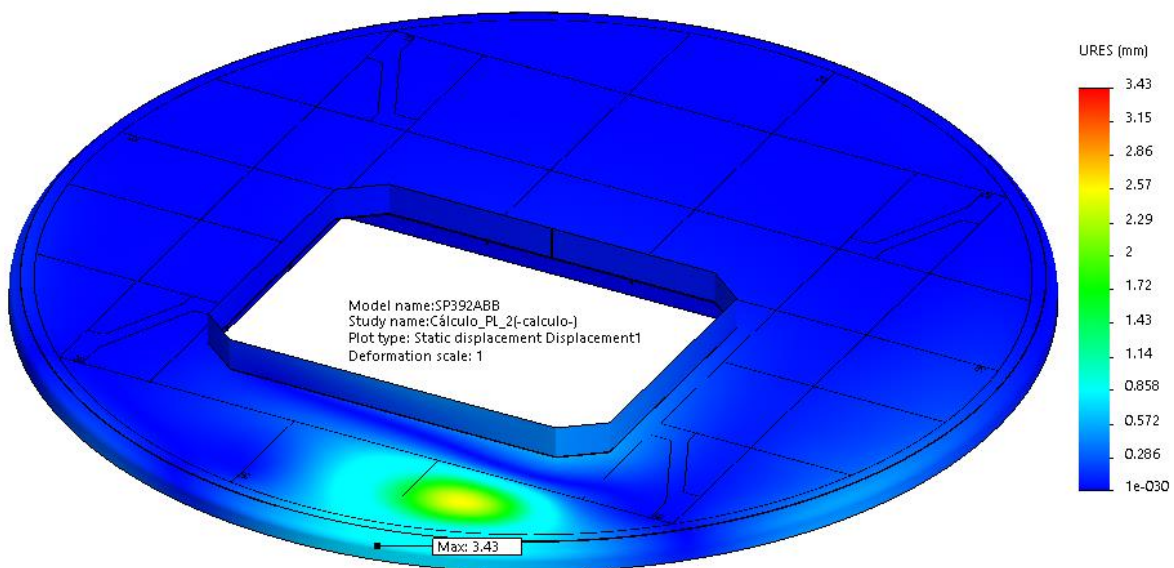


Figura A.83 - Distribuição dos deslocamentos resultantes

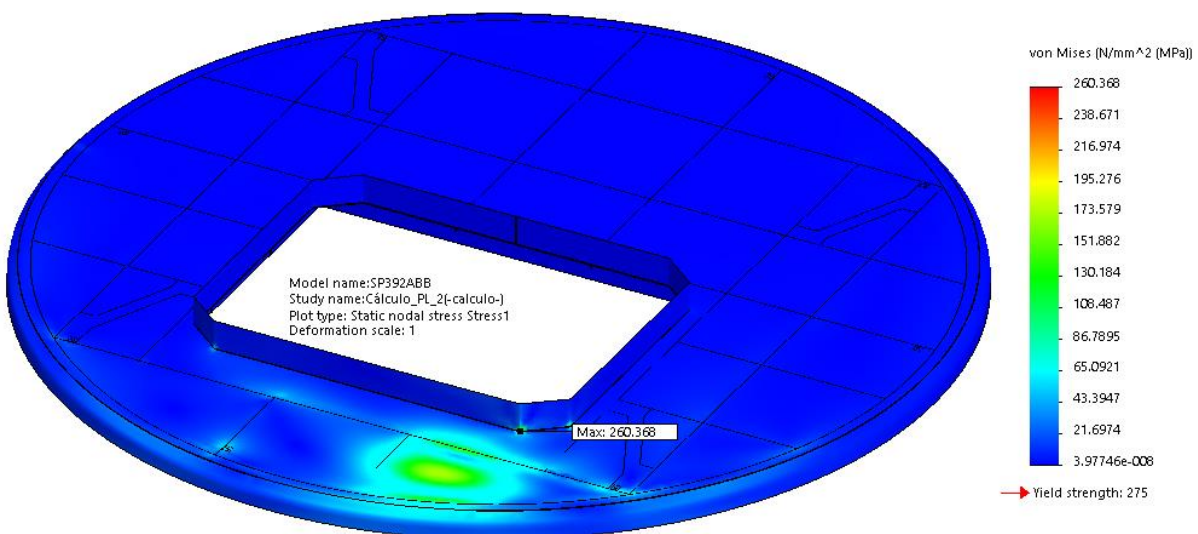


Figura A.84 - Distribuição das tensões

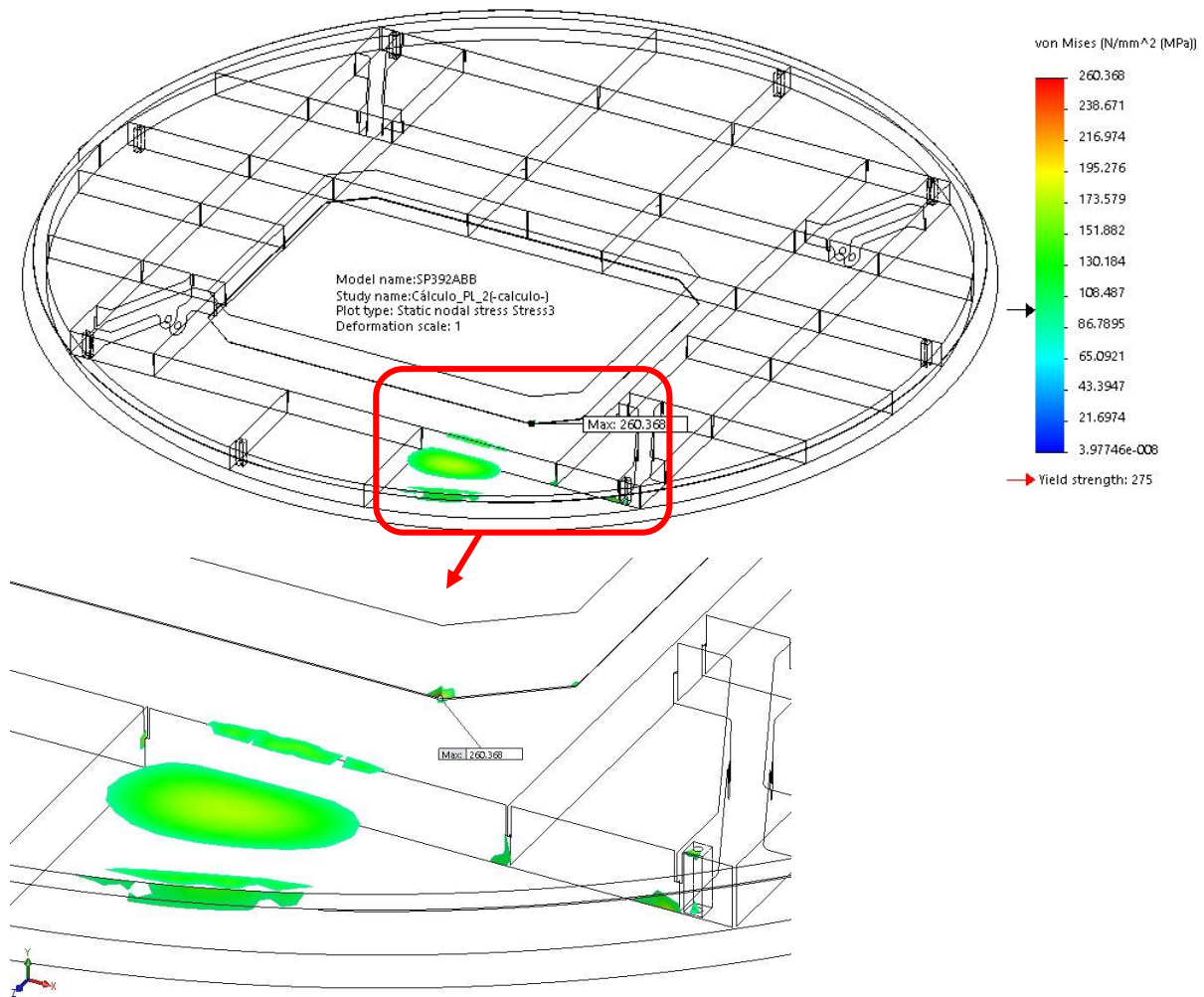


Figura A.85 - Distribuição das tensões superiores a 100 MPa

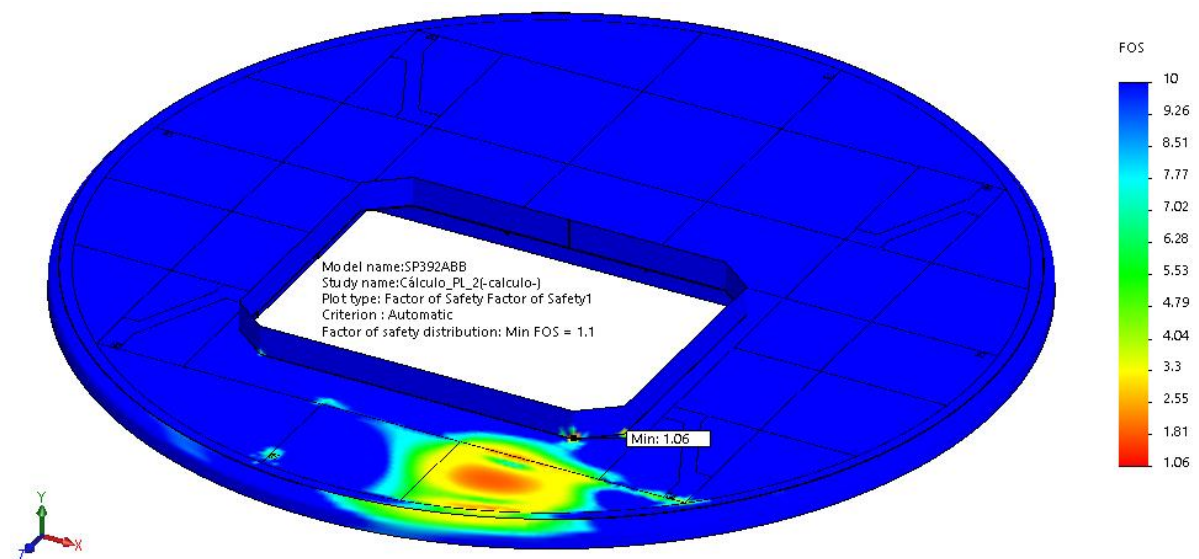


Figura A.86 - Distribuição do fator de segurança

A.3.4.3. 3º Ensaio da plataforma de solo

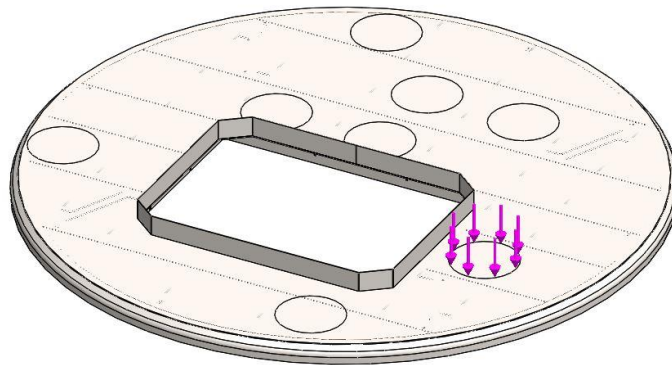


Figura A.87 - Esforços considerados no cálculo. Setas de roxo – Localização e direção da força

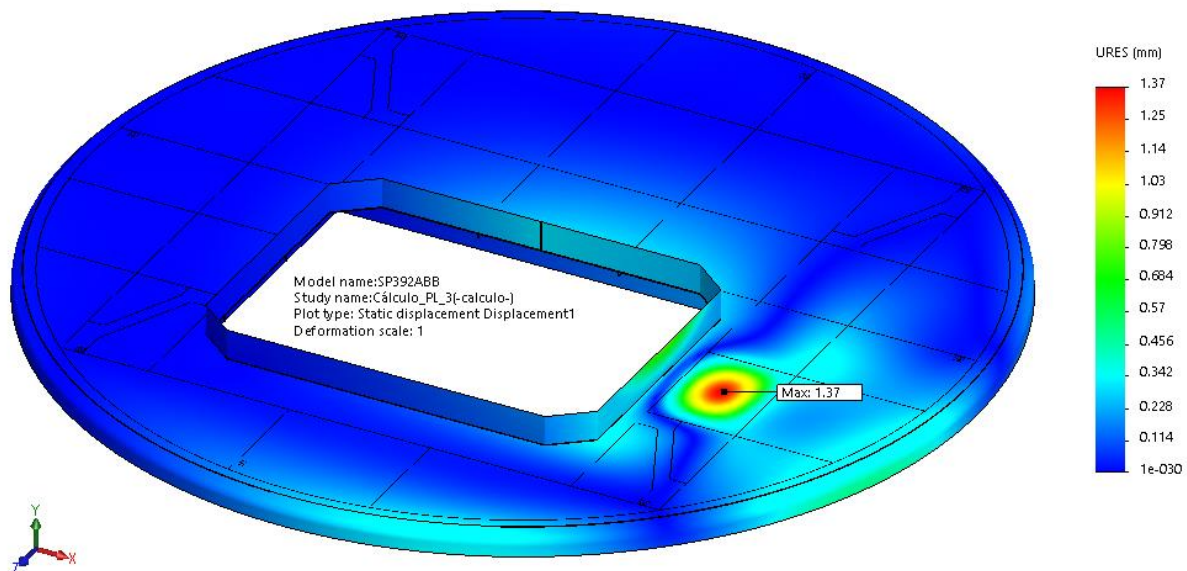


Figura A.88 - Distribuição dos deslocamentos resultantes

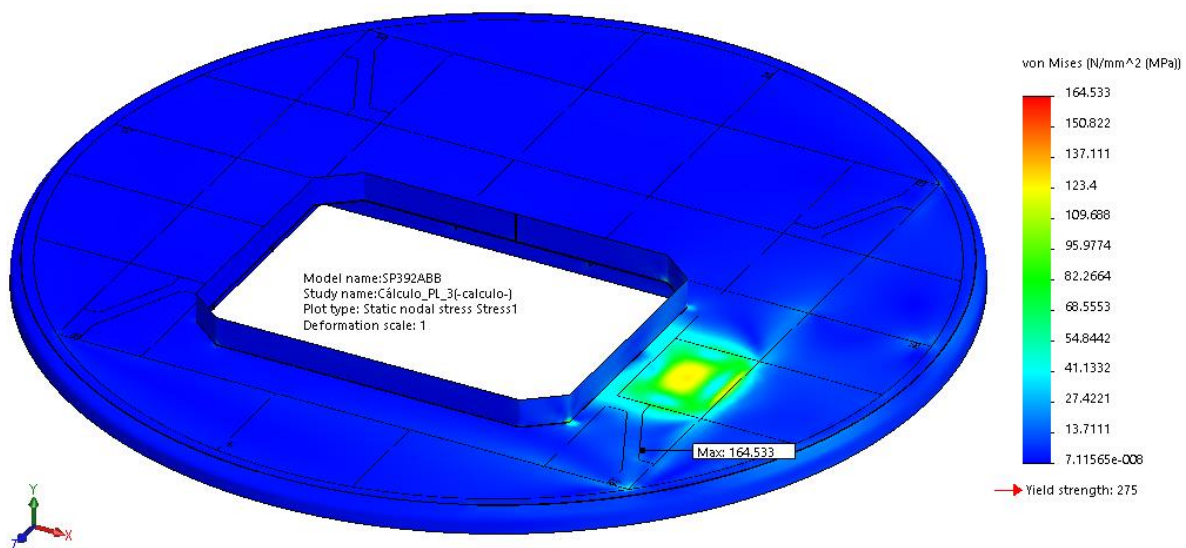


Figura A.89 - Distribuição das tensões

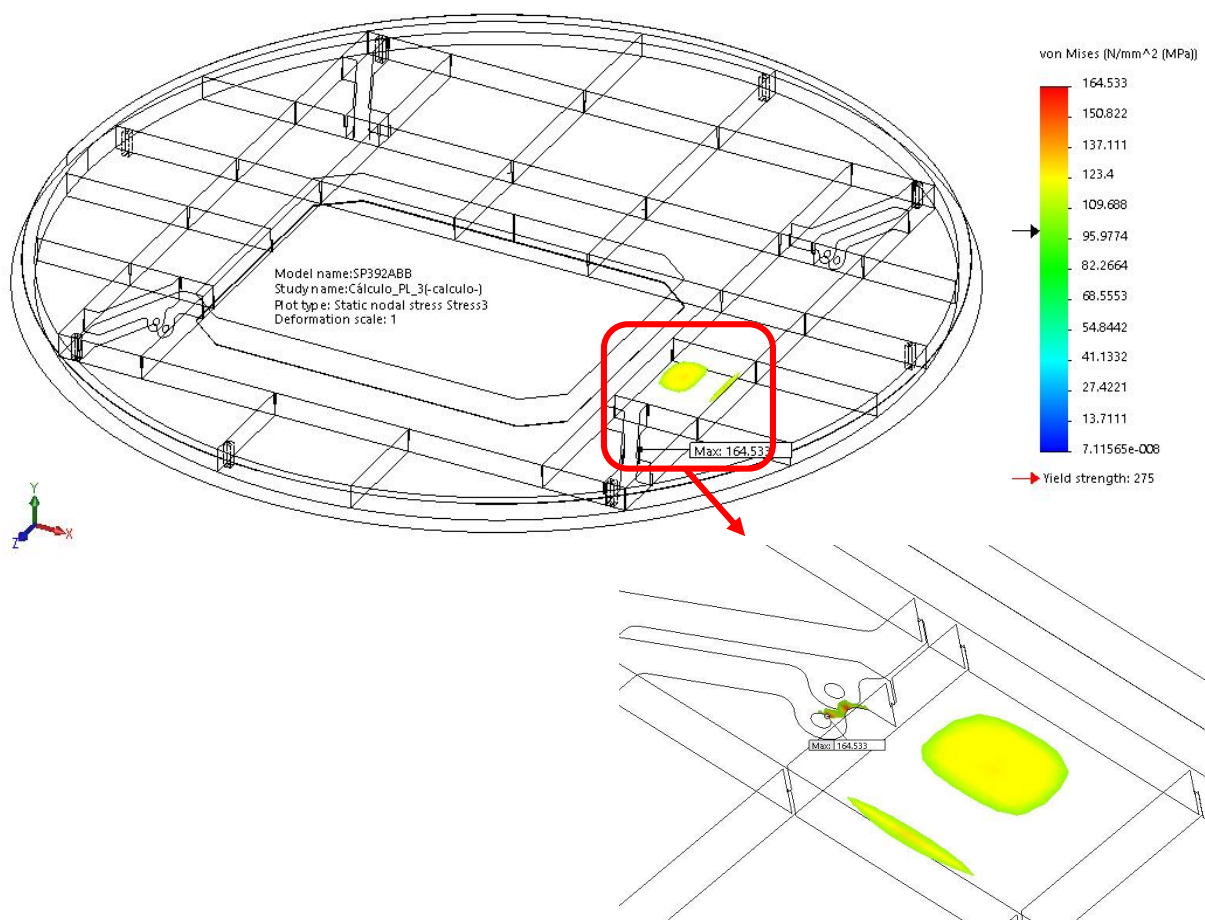


Figura A.90 - Distribuição das tensões superiores a 100 MPa

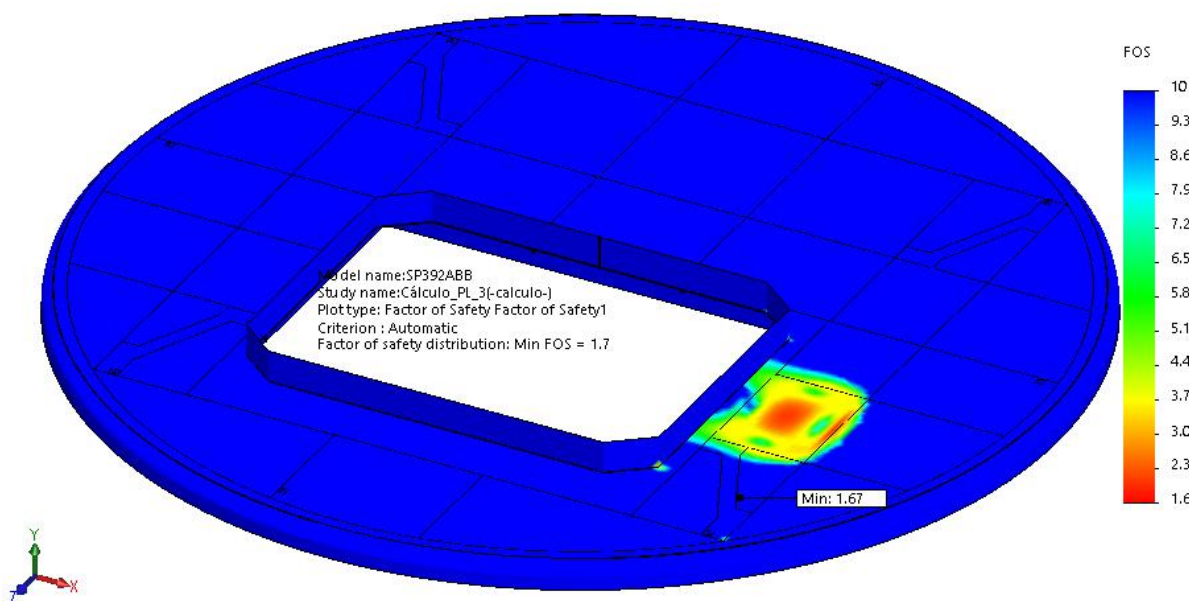


Figura A.91 - Distribuição do fator de segurança

A.3.4.4. 4º Ensaio da plataforma de solo

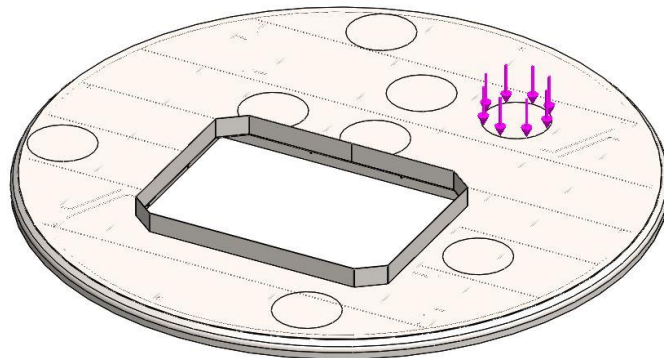


Figura A.92 - Esforços considerados no cálculo. Setas de roxas – Localização e direção da força

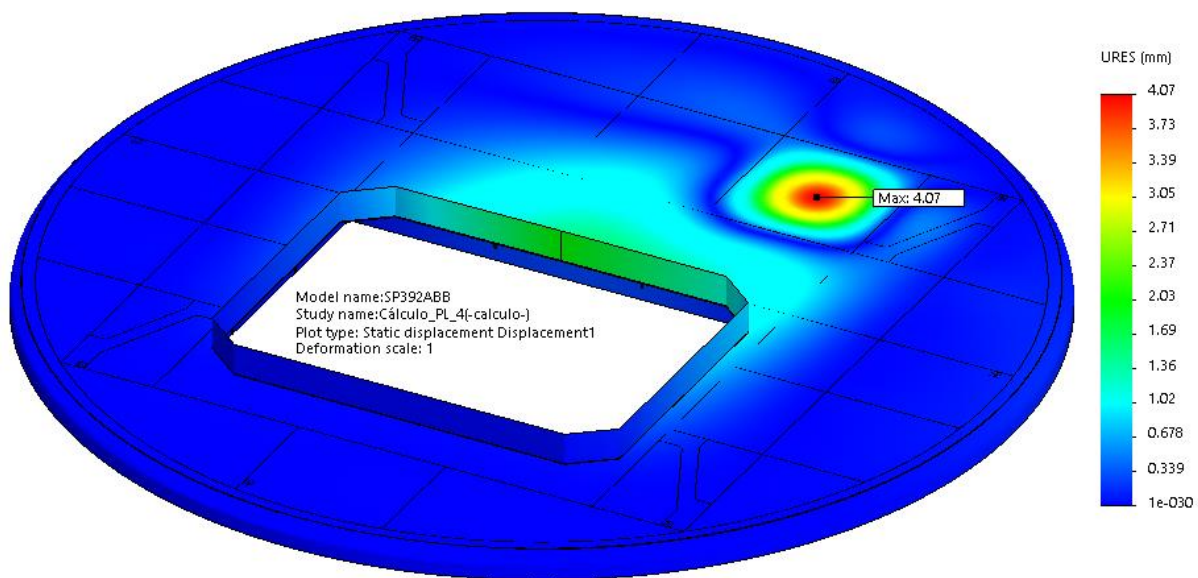


Figura A.93 - Distribuição dos deslocamentos resultantes

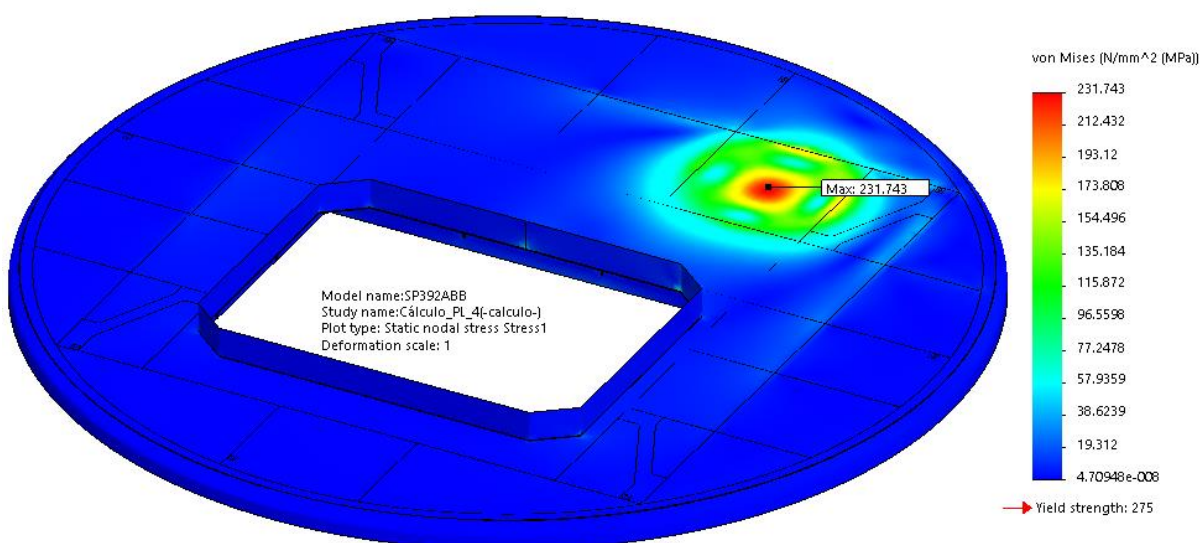


Figura A.94 - Distribuição das tensões

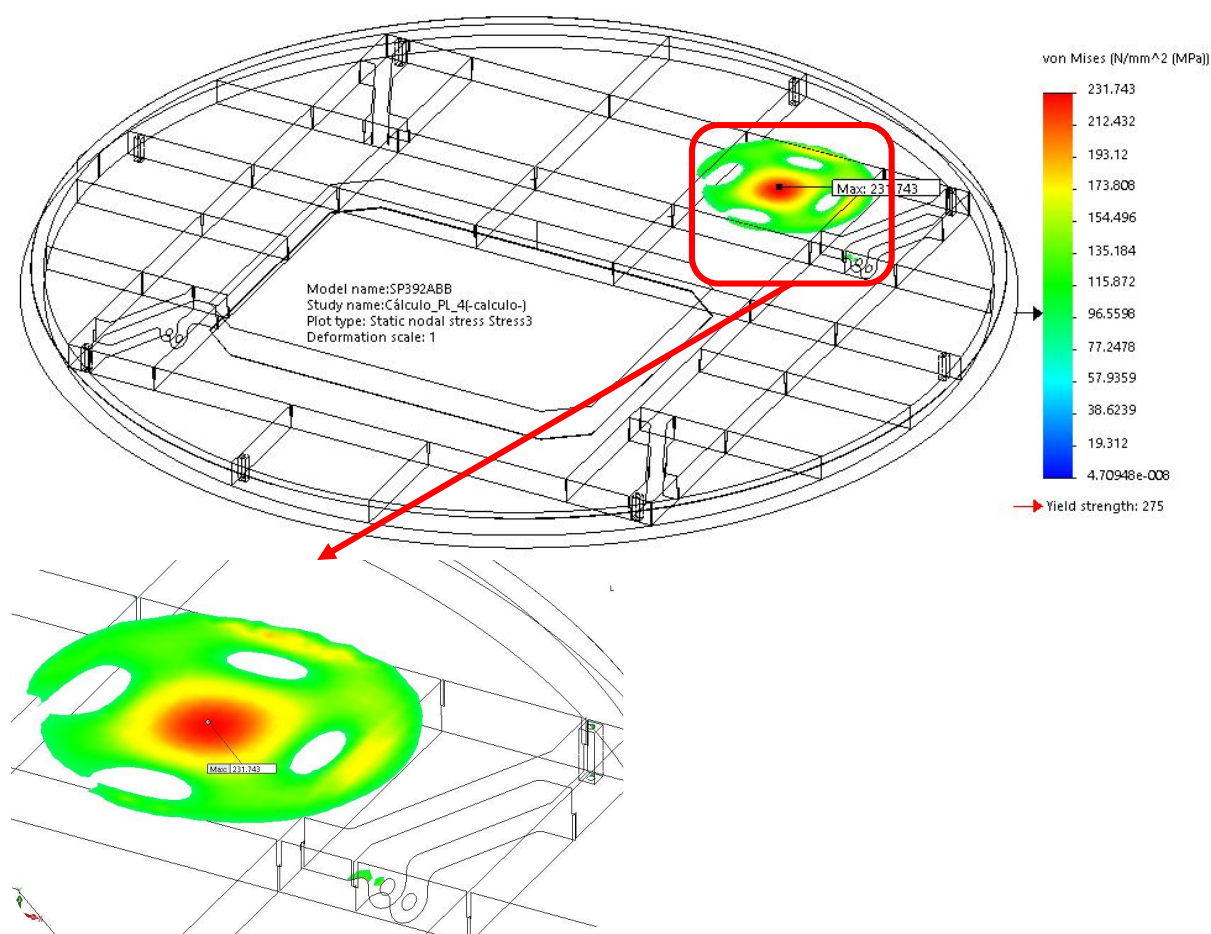


Figura A.95 - Distribuição das tensões superiores a 100 MPa

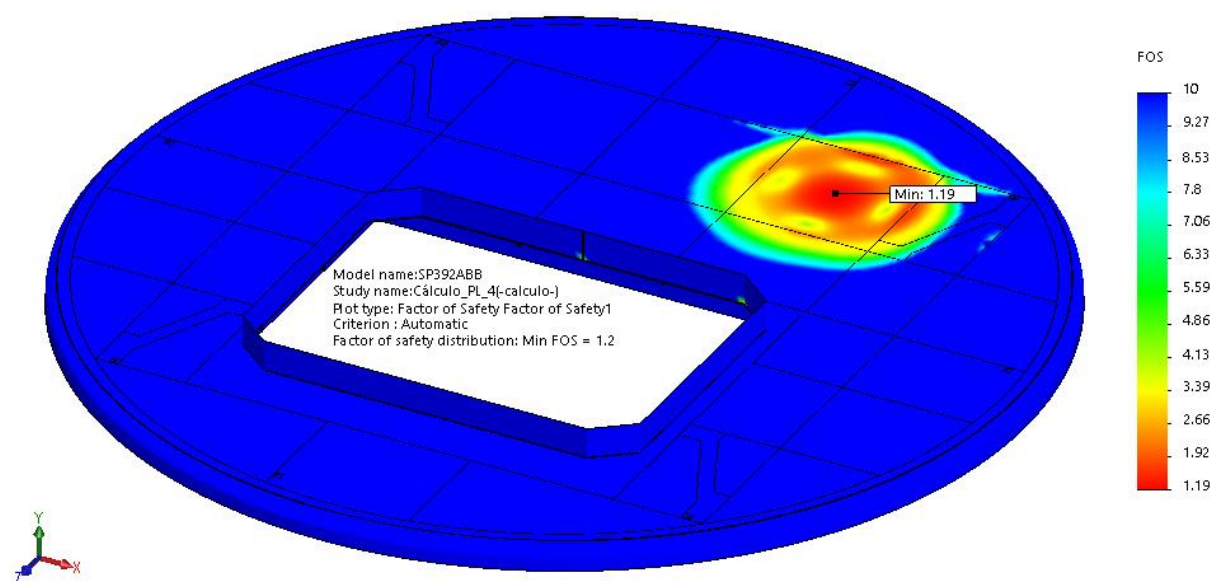


Figura A.96 - Distribuição do fator de segurança

A.3.4.5. 5º Ensaio da plataforma de solo

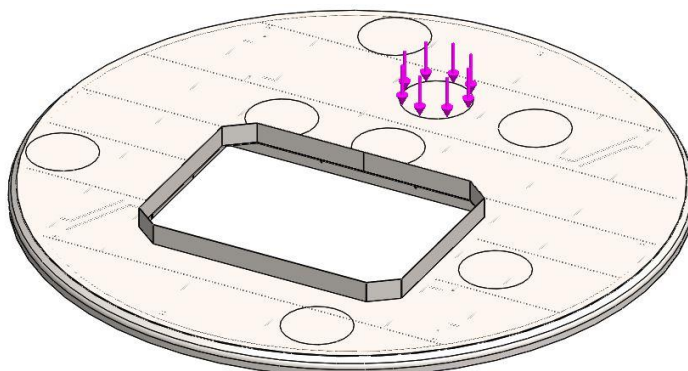


Figura A.97 - Esforços considerados no cálculo. Setas de roxas – Localização e direção da força

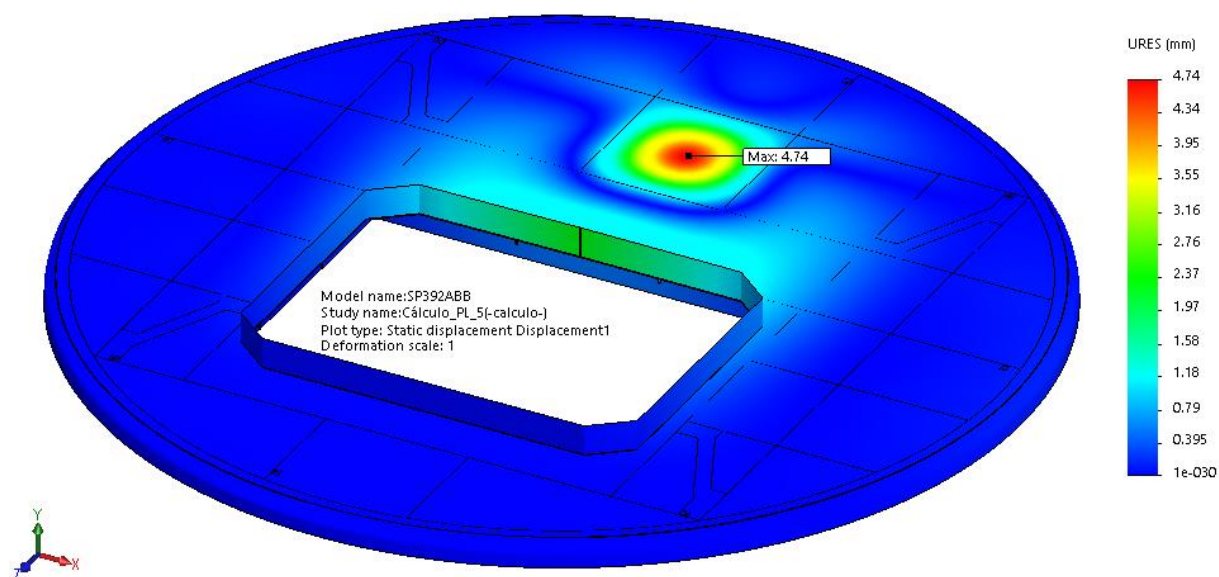


Figura A.98 - Distribuição dos deslocamentos resultantes

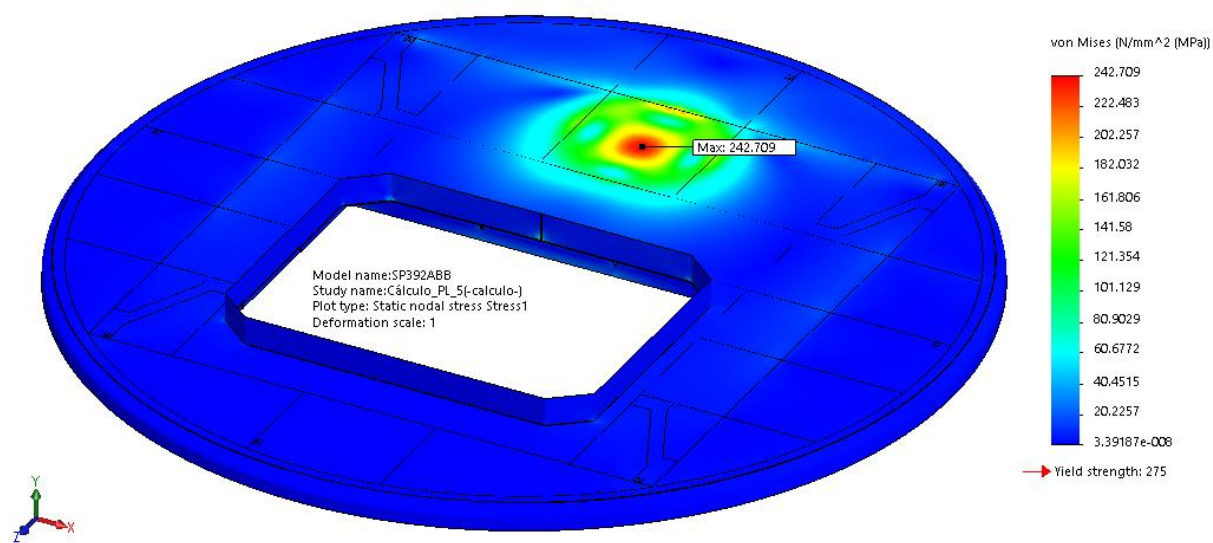


Figura A.99 - Distribuição das tensões

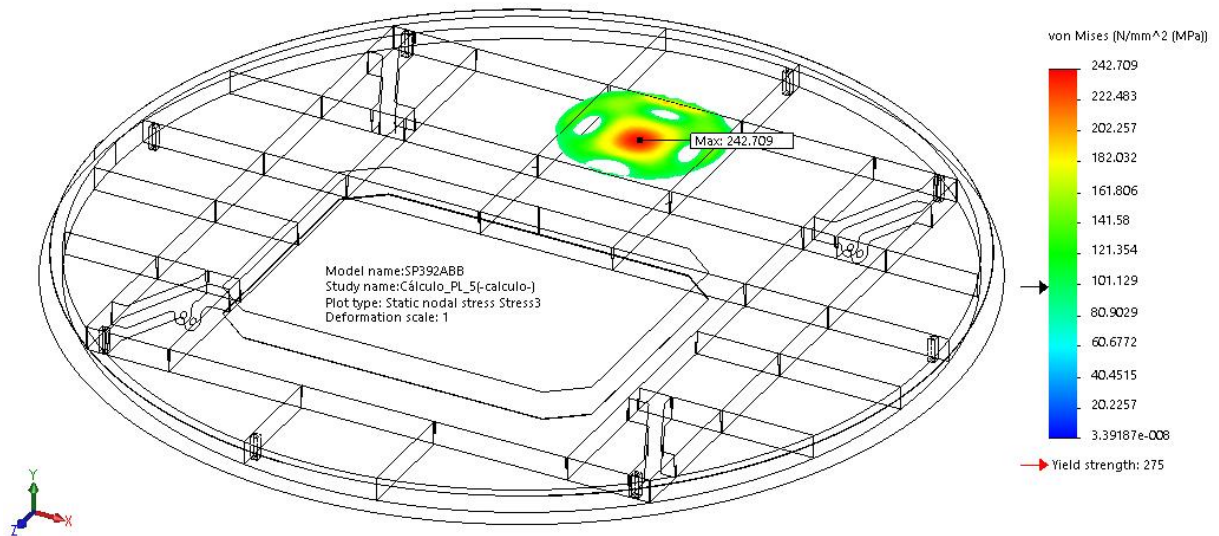


Figura A.100 - Distribuição das tensões superiores a 100 MPa

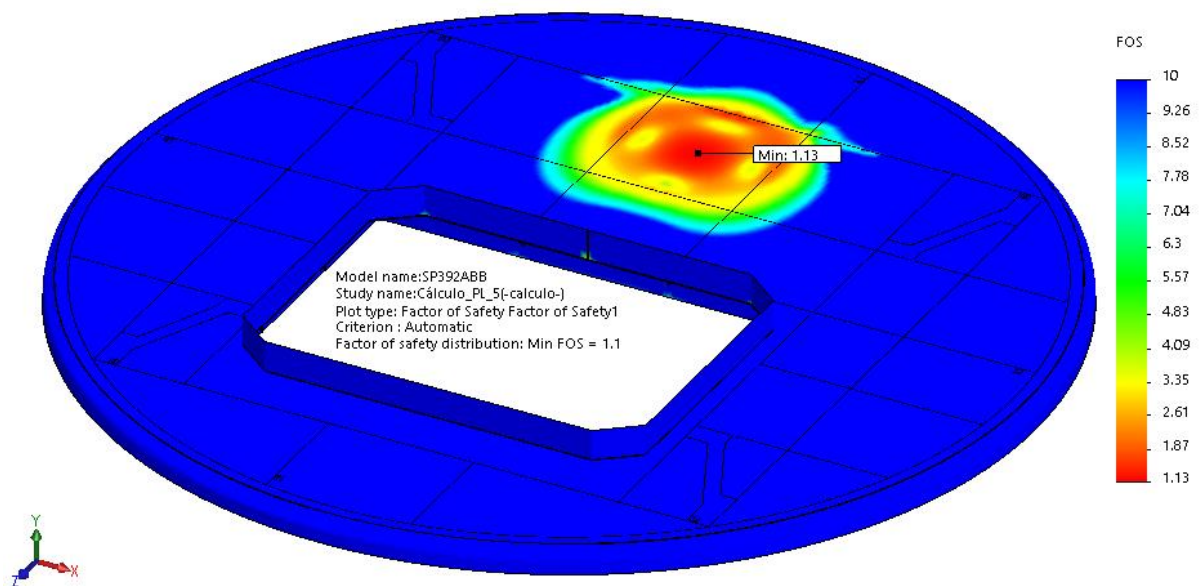


Figura A.101 - Distribuição do fator de segurança

A.3.4.6. 6º Ensaio da plataforma de solo

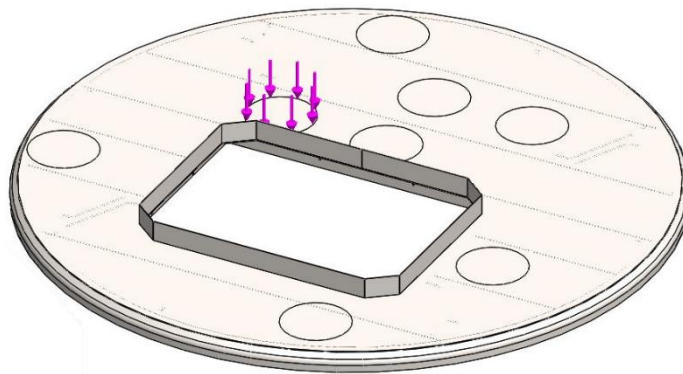


Figura A.102 - Esforços considerados no cálculo. Setas de roxas – Localização e direção da força

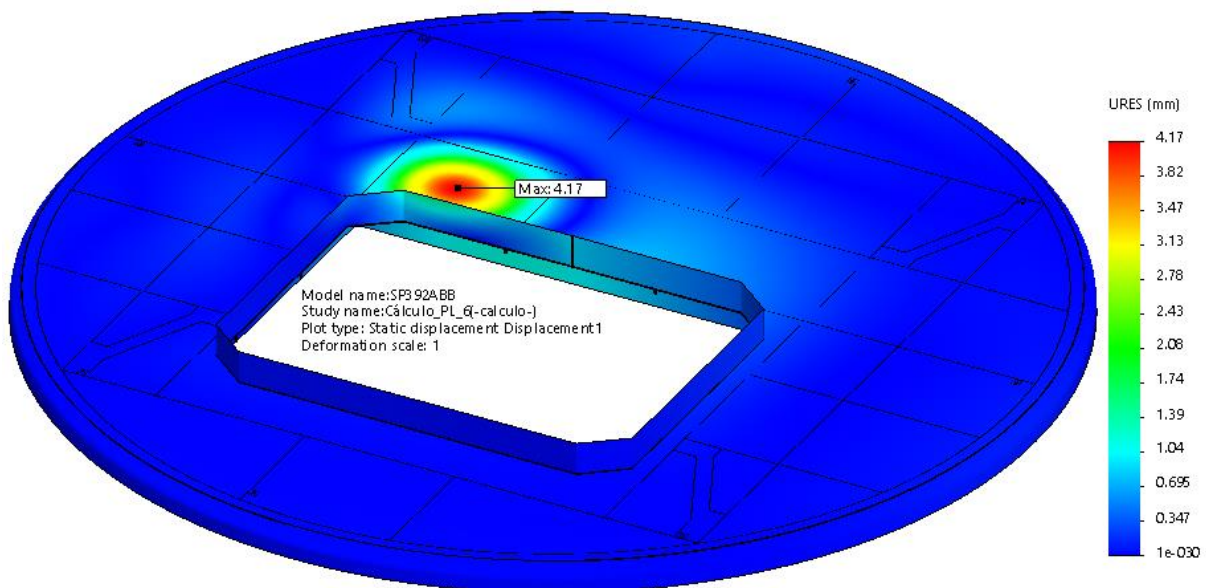


Figura A.103 - Distribuição dos deslocamentos resultantes

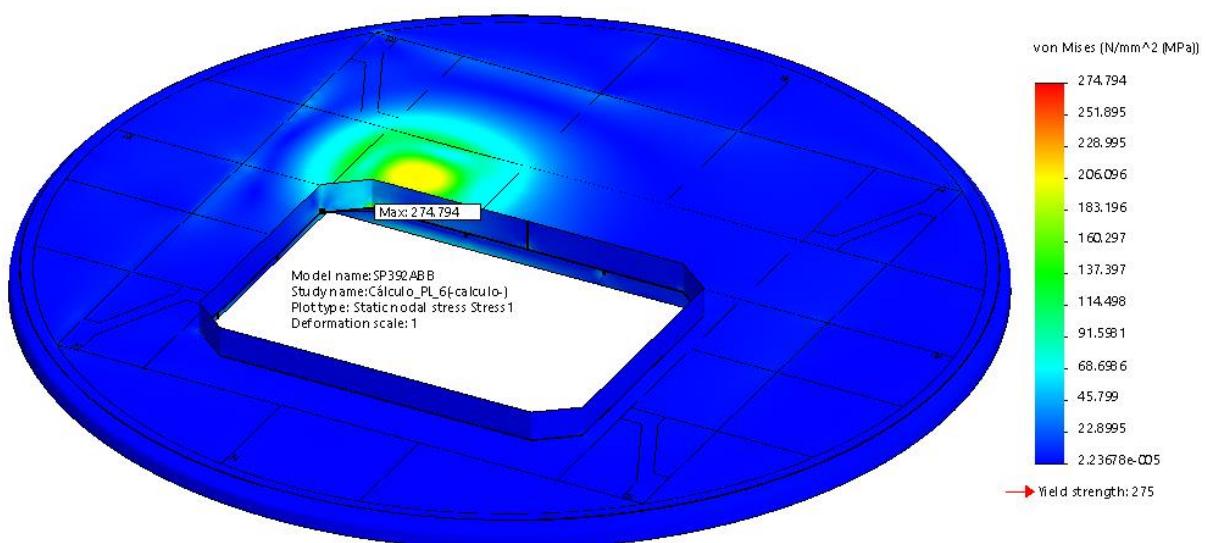


Figura A.104 - Distribuição das tensões

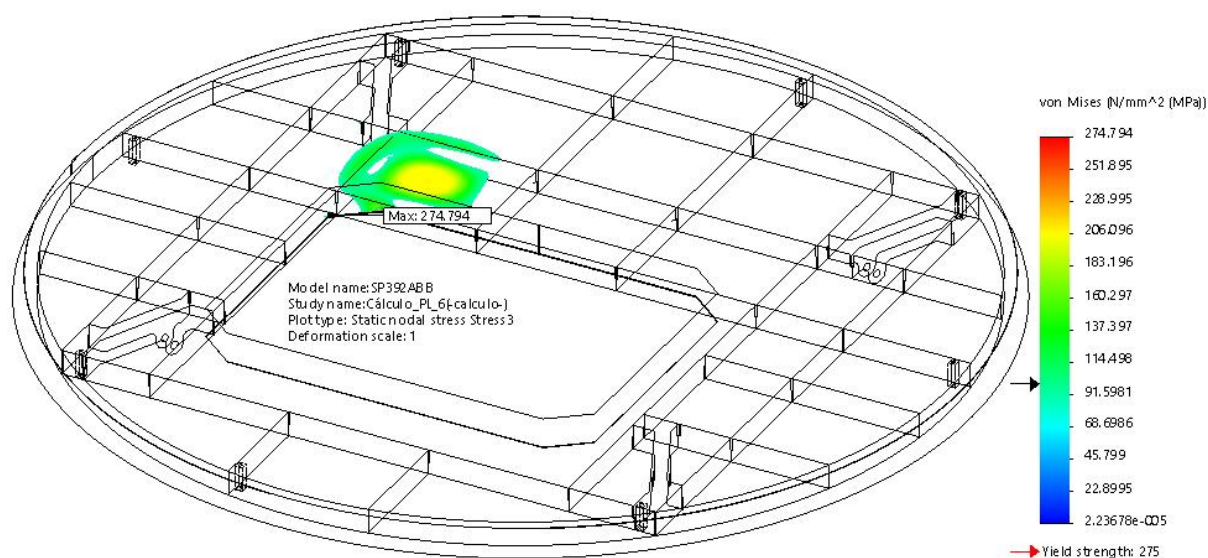


Figura A.105 - Distribuição das tensões superiores a 100 MPa

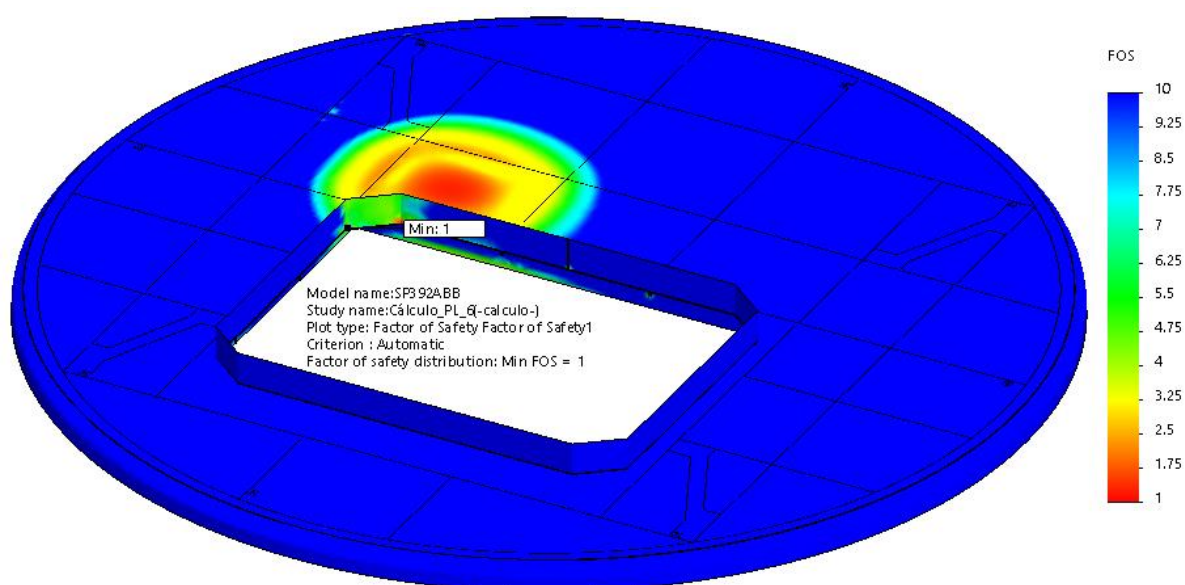


Figura A.106 - Distribuição do fator de segurança

A.3.4.7. 7º Ensaio da plataforma de solo

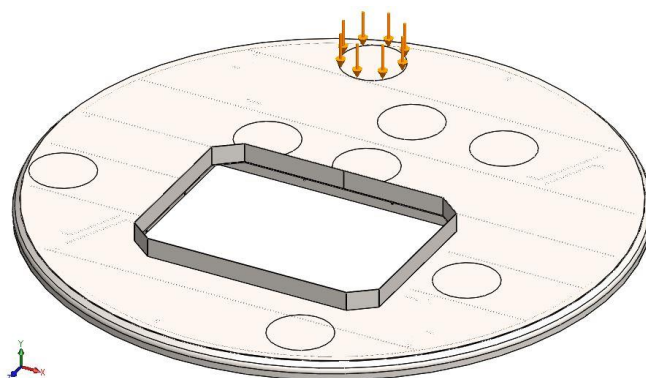


Figura A.107 - Esforços considerados no cálculo. Setas laranja – Localização e direção da força

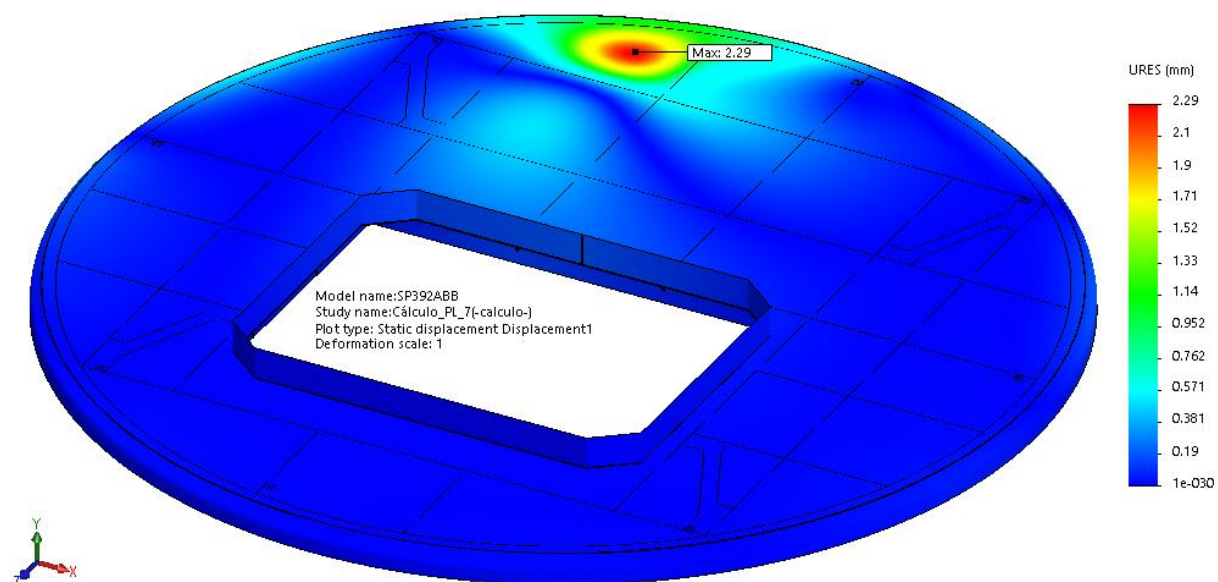


Figura A.108 - Distribuição dos deslocamentos resultantes

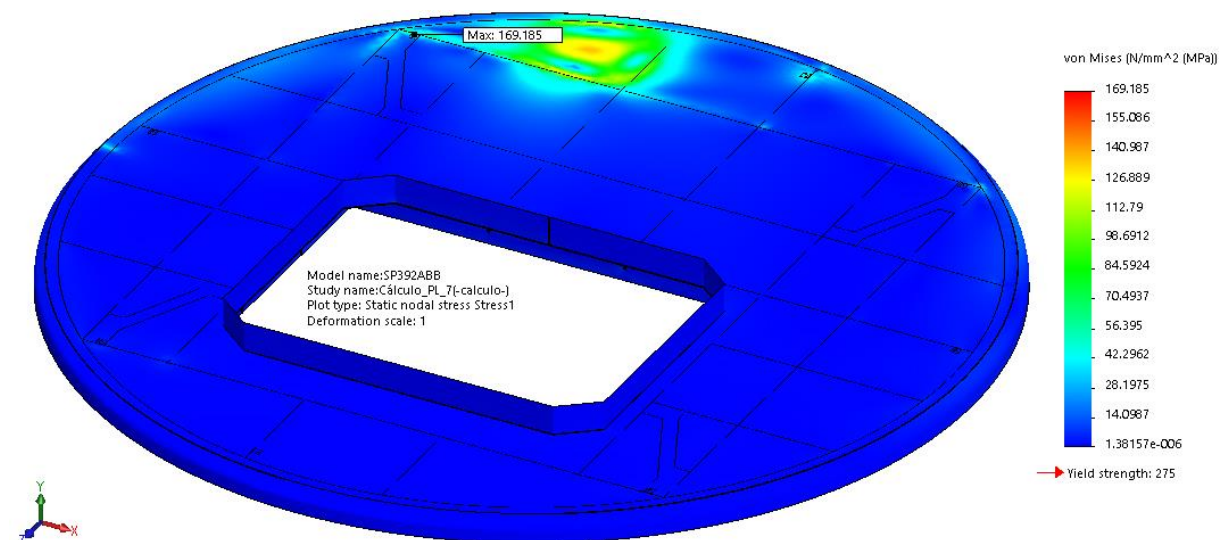


Figura A.109 - Distribuição das tensões

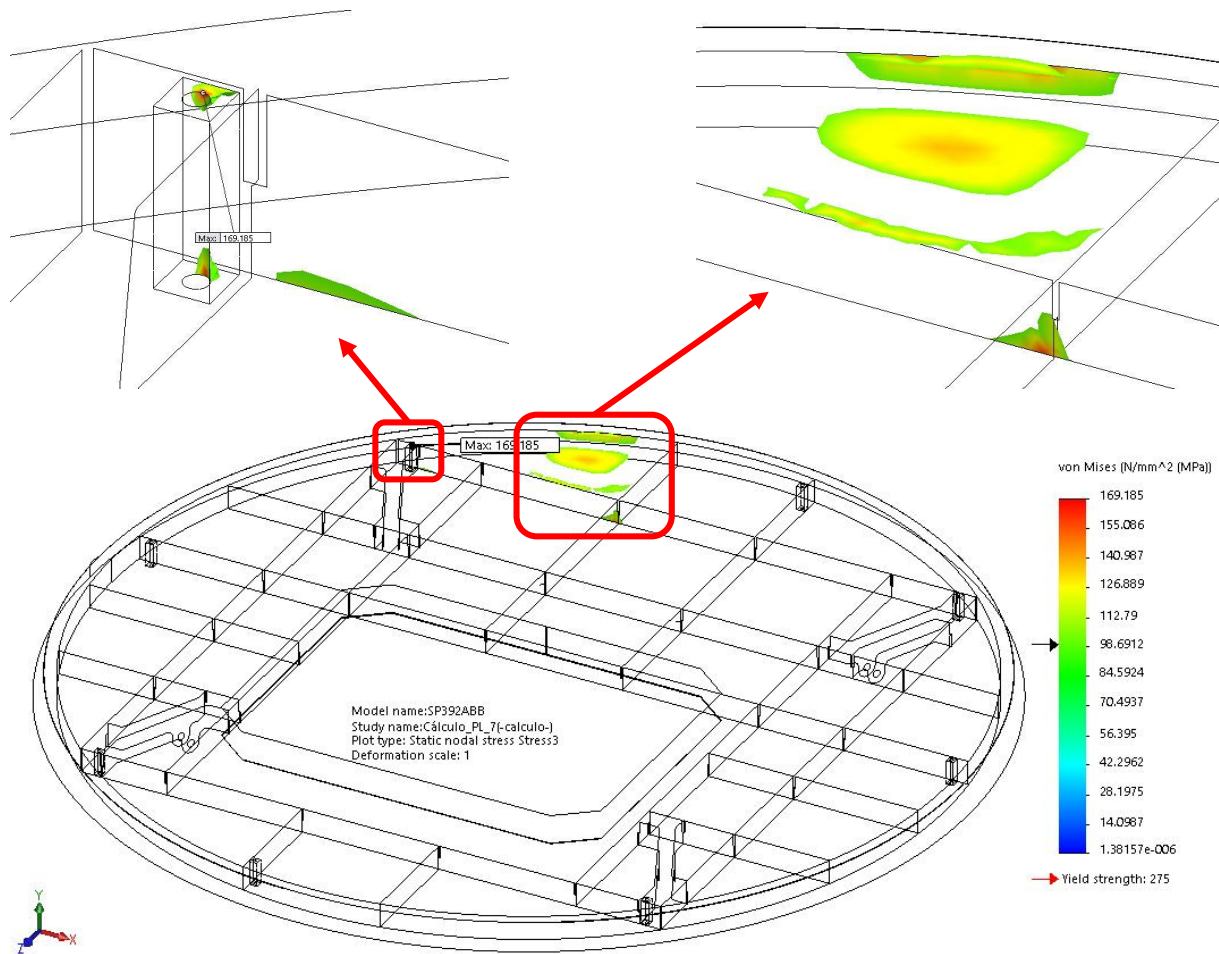


Figura A.110 - Distribuição das tensões superiores a 100 MPa

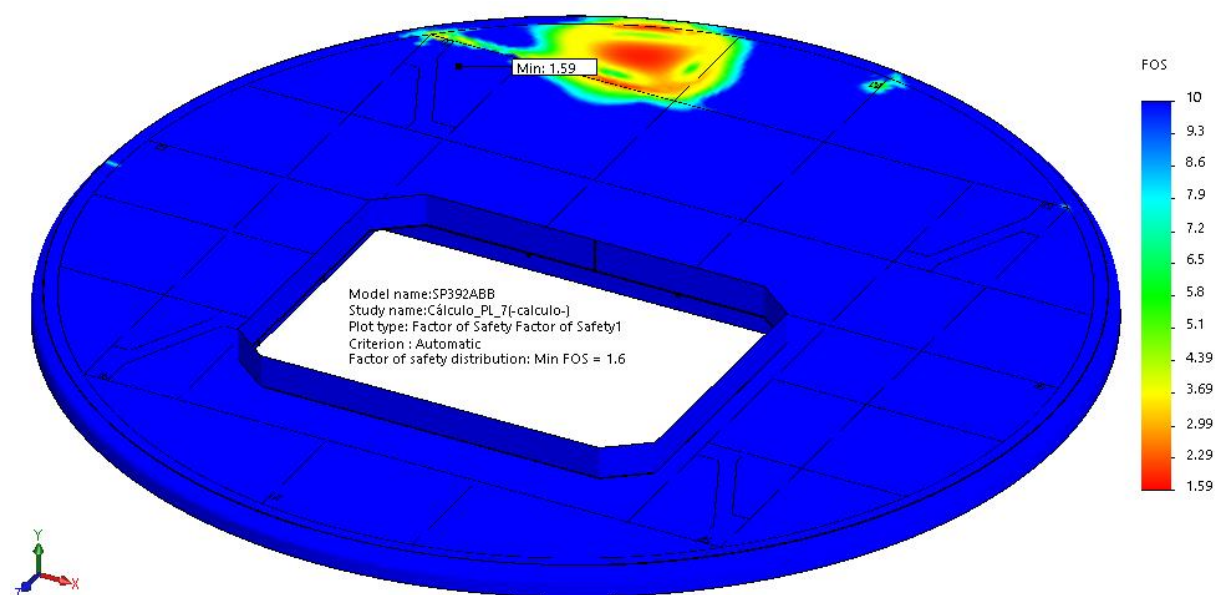


Figura A.111 - Distribuição do fator de segurança

A.3.4.8. 8º Ensaio da plataforma de solo

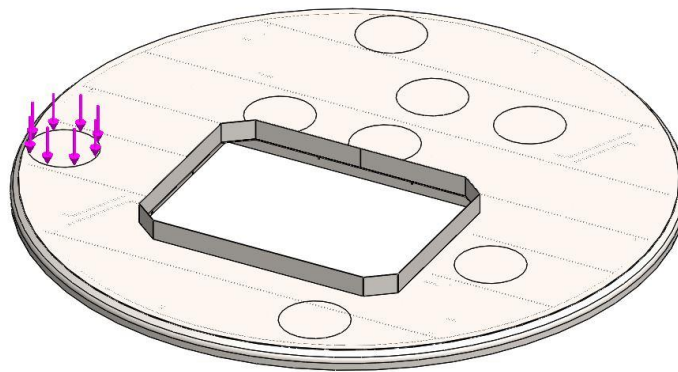


Figura A.112 - Esforços considerados no cálculo. Setas roxas – Localização e direção da força

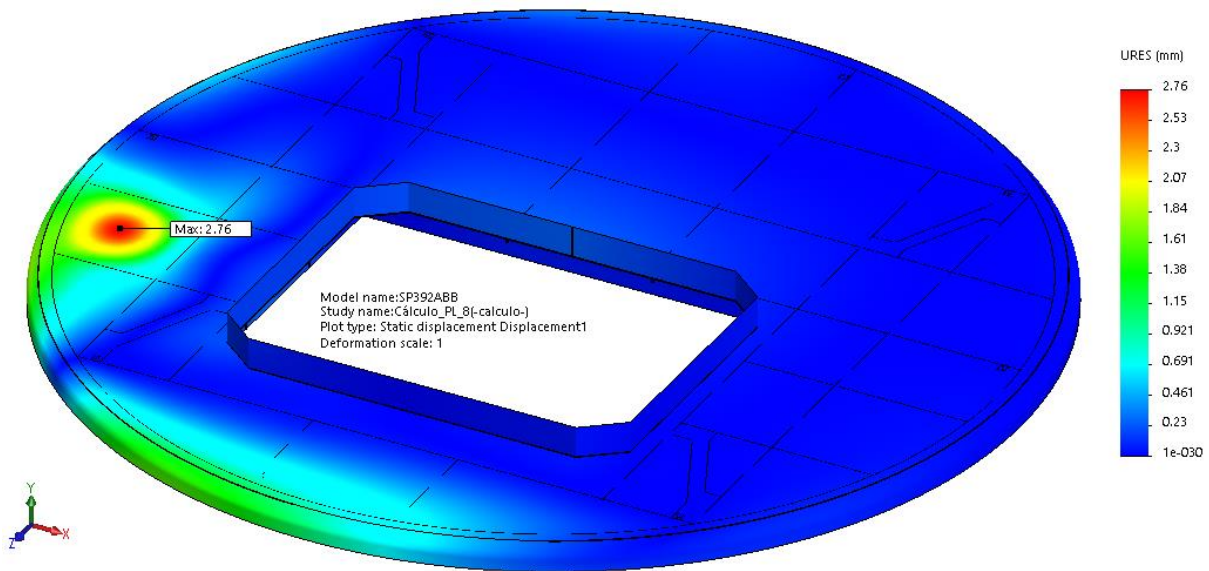


Figura A.113 - Distribuição dos deslocamentos resultantes

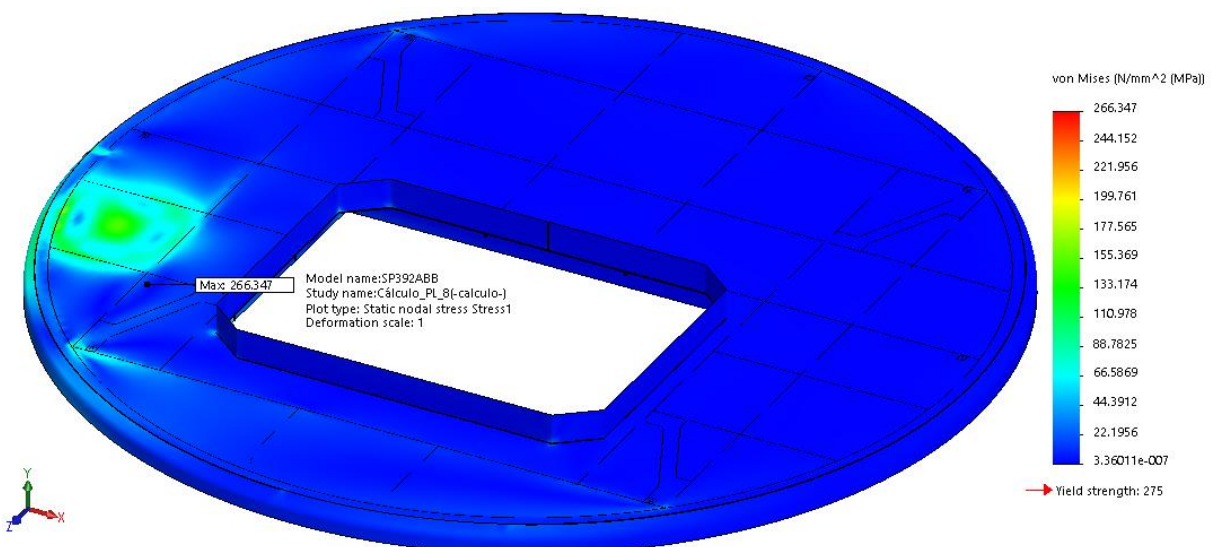


Figura A.114 - Distribuição das tensões

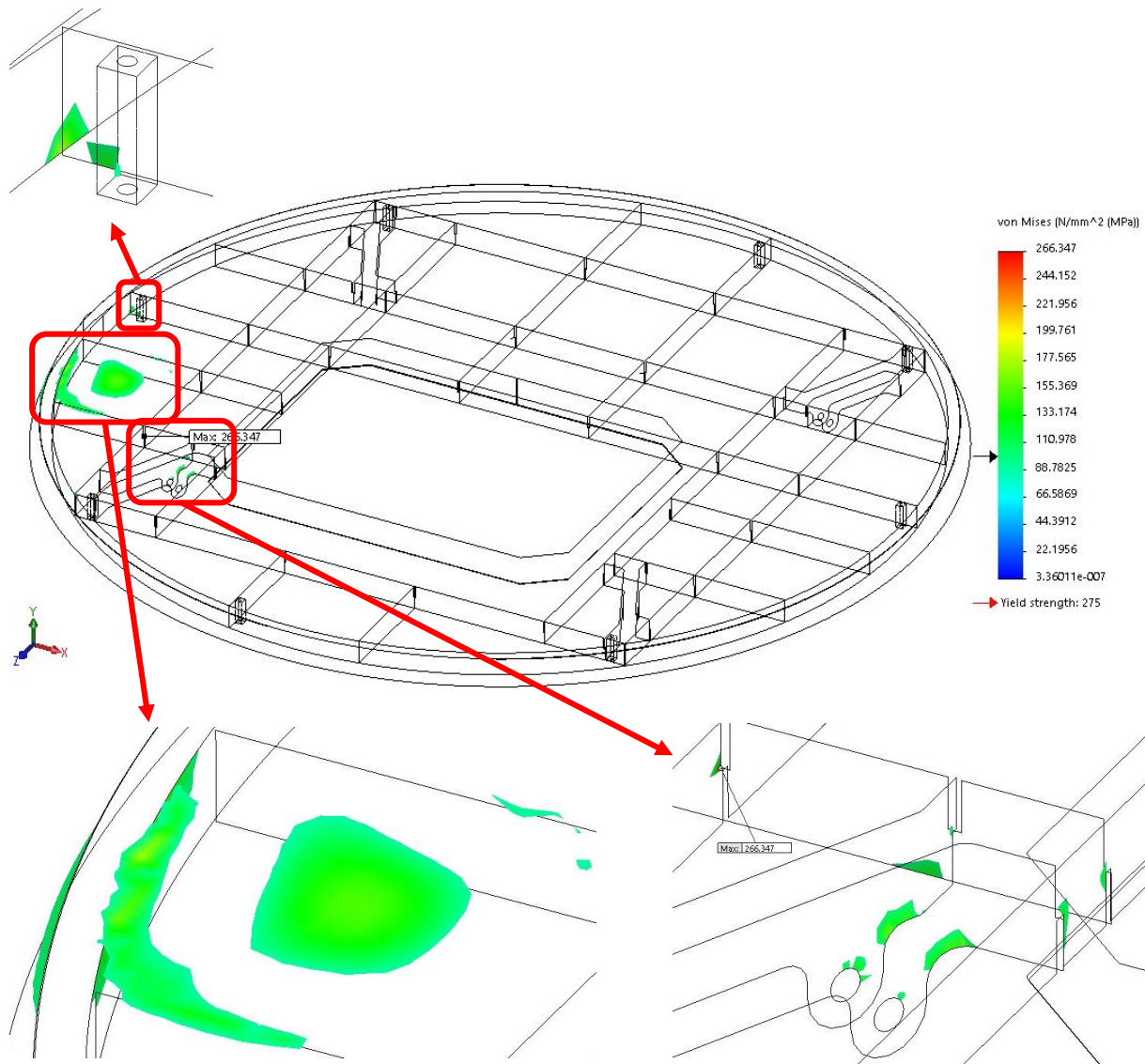


Figura A.115 - Distribuição das tensões superiores a 100 MPa

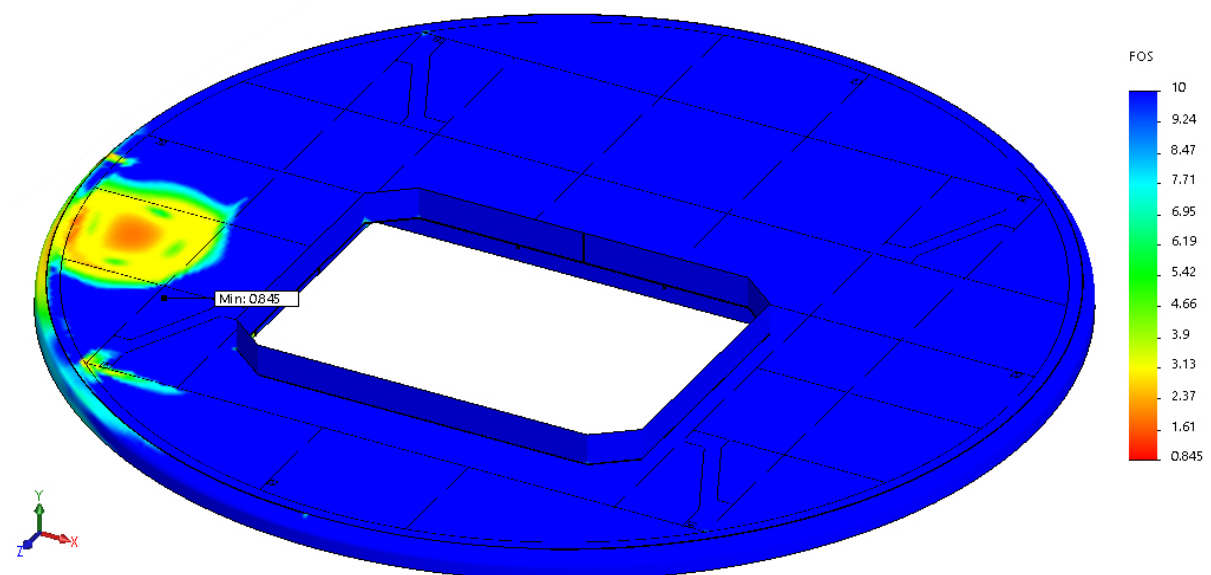


Figura A.116 - Distribuição do fator de segurança, de notar que existe um erro neste plot pois o fator de segurança aparece inferior a 1

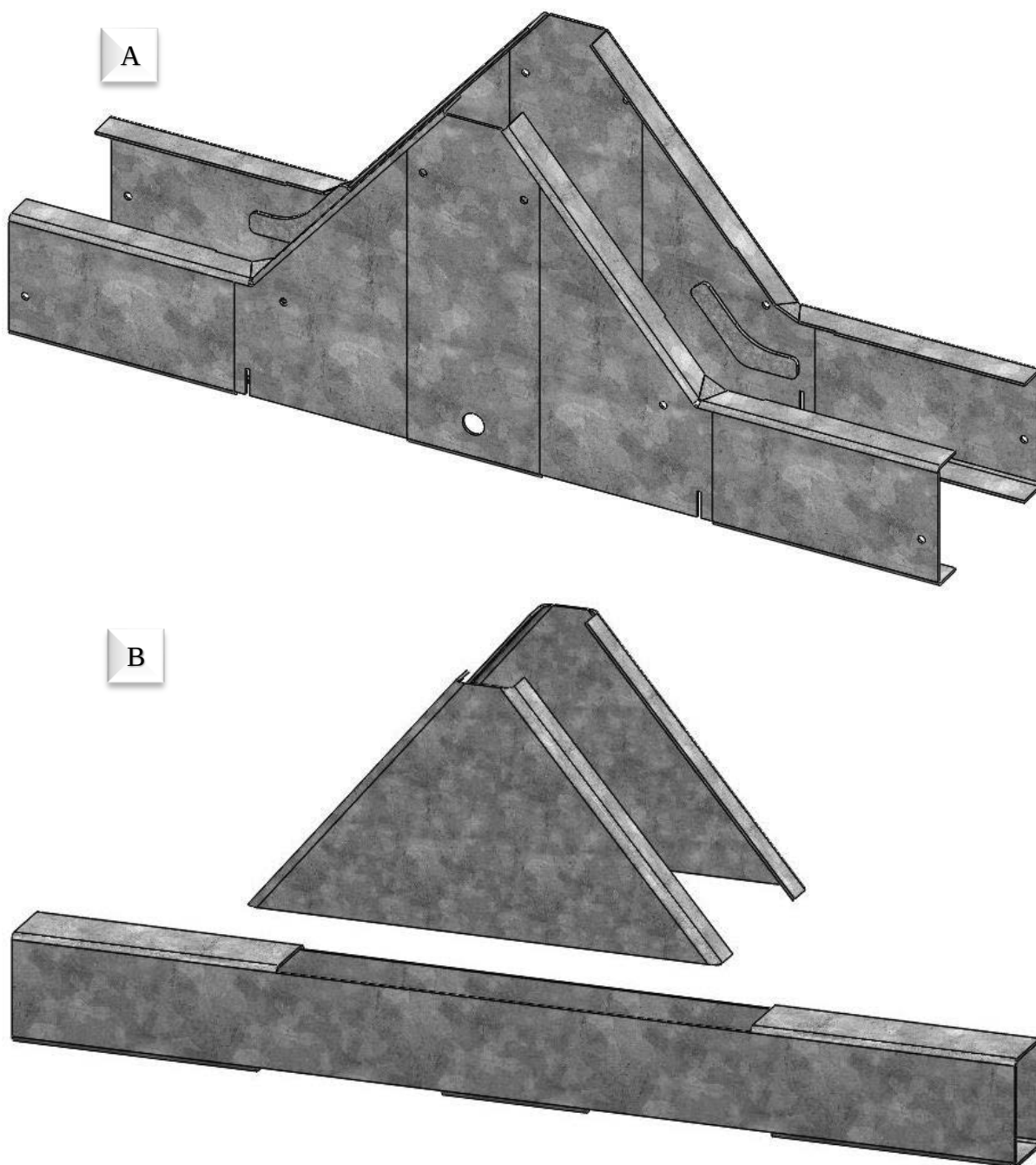
A.3.5. Conclusão 3º capítulo

Figura A.117 - (A) – Peças centrais do *quick*, existentes e estudados; (B) – Configuração proposta e aprovada para substituir as peças centrais do *quick* existente