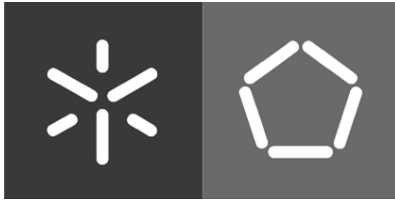


Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Guilherme Pereira Lopes

**Monitorização autónoma de estruturas de
amarração para a gestão portuária
inteligente**



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Guilherme Pereira Lopes

**Monitorização autónoma de estruturas de
amarração para a gestão portuária
inteligente**

Dissertação de Mestrado
Mestrado em Engenharia Civil
Estruturas e Geotecnia

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor Eduardo Nuno Borges Pereira
Doutor Marcos Silva Martins

Declaração

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contatar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição-NãoComercial-SemDerivações
CC BY-NC-ND

<https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/>

Agradecimentos

Gostaria de agradecer às diversas pessoas que de alguma forma contribuíram para a elaboração desta dissertação, desenvolvida no âmbito do Mestrado em Estruturas e Geotecnia.

Ao meu orientador, o Professor Doutor Eduardo Nuno Borges Pereira, agradecer pelo apoio prestado durante todo o período de desenvolvimento desta dissertação, desde a transmissão de conhecimento até à ajuda na resolução de problemas e dificuldades que foram surgindo ao longo deste percurso.

Um agradecimento especial à Administração dos Portos do Douro, Leixões e Viana do Castelo, SA (APDL), ao Engenheiro Joel Silva e ao projeto “GIIP – Intelligent Management of Port Infrastructures”, POCI-01-0247-FEDER-039890, por fornecerem documentos e informação necessária para a elaboração desta dissertação.

Aos meus familiares, namorada e amigos que, de alguma forma, contribuíram e me incentivaram para que este trabalho fosse desenvolvido e concluído com sucesso.

Declaração de integridade

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio, nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração. Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

Resumo

No funcionamento de uma infraestrutura portuária, a informação recolhida referente às diversas atividades praticadas é de enorme relevância para um bom e otimizado funcionamento do porto. As roturas das estruturas de amarração são recorrentes durante e após os processos de atracação, e a segurança dos intervenientes nestas atividades, bem como das embarcações nelas envolvidas, tornam-se uma preocupação cada vez maior para as autoridades portuárias.

Nesse sentido, o trabalho elaborado nesta dissertação contribui para o desenvolvimento de um sistema de monitorização de estruturas portuárias, tais como cabeços de amarração e defensas marítimas, capaz de fornecer dados relativos a estas estruturas e aos navios nelas atracados, contribuindo desta forma para a segurança e melhor planeamento deste tipo de atividades.

O projeto em causa, tem como objetivo a monitorização das estruturas mencionadas, a partir da colocação de diferentes sensores. A obtenção de informação relativa ao comportamento destas estruturas, aquando e após o processo de atracação, possibilita prever uma eventual rotura destes elementos.

Futuramente, a partir deste mesmo conjunto de dados obtidos, pretende-se criar as bases para um sistema com capacidade para determinar outras variáveis importantes tais como a carga armazenada no navio, facilitando assim o controlo do que é descarregado no cais. Desta forma, torna-se possível evitar a sobrecarga do cais, algo que pode comprometer o seu bom funcionamento, ou até mesmo provocar a sua rotura a prazo.

A implementação deste sistema nas infraestruturas portuárias pode conduzir a inúmeras vantagens, tais como a melhoria da segurança dos trabalhadores, manutenção preventiva dos cabeços de amarração e das defensas marítimas, a identificação da carga transportada pelos navios, a estimativa da carga colocada nos cais e controlo de cargas limite suportadas pelas estruturas portuárias.

Palavras-Chave: Porto de Leixões, Cabeços de amarração, Defensas marítimas, Monitorização, Segurança.

Abstract

In the operation of a port infrastructure, the information collected regarding the various activities performed is of enormous relevance for the proper and optimized functioning of the port. Due to the recurring failures of mooring structures during and after mooring processes, the safety of the stakeholders involved in these activities, as well as the vessels engaged in them, becomes a growing concern for port authorities.

In this sense, the work carried out in this dissertation contributes to the development of a monitoring system for port structures, such as mooring bollards and marine fenders, capable of providing data related to these structures and the ships moored to them. This, in turn, enhances safety and facilitates better planning of such activities.

The project in question aims to monitor the mentioned structures by deploying various sensors. Gathering information about the behavior of these structures during and after the mooring process enables the prediction of potential failures in these mooring elements and the supporting structures.

In the future, by using the same approach but at a larger scale, the intention is to develop a system capable of determining the stored cargo on the ship, facilitating the control of the cargo moved to the dock. By doing so, it becomes possible to avoid overloading the dock, something that could impact its proper functioning, or even lead to its rupture.

The implementation of this system in port infrastructures brings numerous advantages, such as added safety to workers, the possibility to carry out preventive repair of mooring bollards and marine fenders, knowledge of cargo carried by ships, knowledge of cargo unloaded at the port and control of weight limits supported by port structures.

Key-Words: Porto de Leixões, Mooring bollards, Marine fenders, Monitoring, Safety.

Índice

Declaração.....	ii
Agradecimentos	iii
Declaração de integridade	iv
Resumo	v
Abstract	vi
Lista de abreviaturas	x
Lista de figuras	xi
Lista de tabelas.....	xv
Capítulo 1	1
1.1. Introdução.....	1
1.2. Objetivos.....	2
1.3. Organização do documento	3
Capítulo 2 – Estado de arte	5
2.1. Estruturas Portuárias.....	5
2.2. Porto de Leixões.....	6
2.2.1. Cais e terminais	7
2.2.2. Doca 4 Norte – Terminal Cerealífero	8
2.3. Amarração de embarcações	9
2.3.1. Metodologia de atracação	9
2.4. Cabeços de amarração	11
2.4.1. Tipologias de cabeços de amarração	12
2.5. Defensas marítimas	13

2.5.1. Tipologias de defensas marítimas.....	14
2.6. Sistemas inteligentes.....	15
2.6.1. Sistema de amarração automática	16
2.7. Monitorização.....	18
Capítulo 3 - Estudo estrutural do cabeço de amarração	20
3.1. O cabeço de amarração	20
3.1.1. Material	20
3.2. Modelação numérica	22
3.2.1. Objetivo	22
3.2.2. Ansys Workbench.....	22
3.2.3. Método dos elementos finitos	24
3.3.2. Condições fronteira	25
3.3.3. Solicitações exercidas no cabeço de amarração.....	26
3.3.4. Instrumentação.....	31
3.3.5. Obtenção de resultados.....	33
3.3. Modelação analítica.....	44
3.3.1. Processo analítico para estimação da carga aplicada	45
3.3.2. Análise dos resultados e comparação com o modelo numérico.....	51
3.4. Sensorização do cabeço de amarração.....	52
3.4.1. Contribuição para o projeto GIIP.....	52
3.5. Extensómetros	53
3.5.1. Princípio de funcionamento.....	54
3.5.2. Circuito de medição – Ponte de Wheatstone.....	55
3.5.3. Alternativas existentes	56
3.5.4. Local de colocação.....	58
3.5.5. Resolução e gama de medição.....	58

Capítulo 4 – Análise estrutural da defesa marítima	62
4.1. A defesa marítima	62
4.1.1. Defensas Cónicas	62
4.1.2. Solicitações.....	63
4.1.3. Componentes de um sistema de defensas	64
4.2. Modelação numérica	68
4.2.1. Objetivo	68
4.2.2. Considerações iniciais.....	68
4.2.3. Modelação da geometria	71
4.3. Análise estrutural do modelo geométrico	76
4.3.1. Condições fronteira	76
4.3.2. Solicitações exercidas no modelo numérico	77
4.3.3. Sensores de proximidade ultrassónicos	81
4.3.4. Estruturação da malha	83
4.3.5. Resultados.....	83
4.4. Análise de resultados	94
4.5. Sensorização do sistema de defensas marítimas com recurso a ultrassons	98
4.6.1. Princípio de funcionamento.....	99
4.6.2. Local de colocação.....	100
4.6.3. Precisão de resultados obtidos	100
4.6.4. Contribuição no projeto GIIP.....	101
Capítulo 5 – Conclusões e futuros desenvolvimentos	103
Referências bibliográficas	107
Anexo – Resultados adicionais.....	111

Lista de abreviaturas

APDL - Administração dos Portos do Douro, Leixões e Viana do Castelo, SA

PIANC – Associação Mundial de Infraestruturas de Transporte Aquaviário

mA – Miliampère

MEF – Método do Elementos Finitos

MBL – Minimum Breaking Load

MWL - Minimum Working Load

N – Newton

kN – Quilo Newton

MPa – Megapascal

GPa - Gigapascal

ULS - Estados Limites Últimos

ADC - Conversor Analógico-Digital

Lista de figuras

Figura 1 - Porto de Xangai, China - Maior porto marítimo do mundo (Olhar digital, 2022).....	6
Figura 2 - Porto de Leixões (Associação dos Portos de Portugal, 2023).....	7
Figura 3 - Representação da doca 4 norte do Porto de Leixões (Associação dos Portos de Portugal, 2023).	8
Figura 4 - Navio atracado. Registo realizado no dia 27 do fevereiro de 2023, após visita ao local.	11
Figura 5 - Tipos de cabeços de amarração (TRELLEBORG, 2023).....	13
Figura 6 - Sistema de defensas cónicas (SUNHELM, 2023).....	15
Figura 7 - Sistema de amarração automática (Jha et al., 2020) – “Amarração autônoma. (À esquerda) Apresentação conceptual a demonstrar a posição relativa do navio, o braço robótico e o cabeço de amarração; (à direita) vista amplificada (com permissão da MacGregor Norway AS).	17
Figura 8 - Ganchos de desengate rápido (COPABOINFRA, 2023).	18
Figura 9 - Capacidade de carga inerente a diversos cabeços de amarração de acordo com a sua geometria (ESC Mooring Bollards Catalogue, 2022).....	20
Figura 10 - Representação do comportamento do material ferro fundido quando submetido a um ensaio tensão-extensão (Brauer, 2017).	21
Figura 11 - Quadro comparativo entre diferentes tipologias de ferro e aço (Elliott, 1988).	22
Figura 12 - Exemplo de malha utilizada no método dos elementos finitos (MEF).	24
Figura 13 - Representação das condições de apoio inerentes ao modelo em estudo.	25
Figura 14 - Atracação de um navio por meio de um cabeço de amarração. Registo realizado no dia 27 do fevereiro de 2023, após visita ao local.	26
Figura 15 - Geometria inicial (Esquerda); Geometria após adaptação (Direita).....	27
Figura 16 - Exemplo de solicitação referente ao caso de carga (Esquerda); Vista superior do ponto de aplicação da carga (Direita).	28
Figura 17 - Posicionamento relativo dos cabeços de amarração (Vitor Santos, 2021).....	30
Figura 18 - Direções inerentes à carga de amarração (Thoresen, 2003).	30
Figura 19 - Pontos do modelo representativos dos extensómetros.	32
Figura 20 – Definições da malha inicial.....	36
Figura 21 - Resultados carregamento crítico 1.....	37

Figura 22 – Resultados carregamento crítico 2.	38
Figura 23 – Tensões máximas equivalente de Von-Mises inerente ao carregamento crítico 1.	38
Figura 24 - Tensões principais segundo eixo Y, inerentes ao carregamento crítico 1.....	39
Figura 25 - Tensões principais segundo eixo Y, no interior do tronco do cabeço de amarração, inerentes ao carregamento crítico 1.	39
Figura 26 - Tensões principais segundo eixo Y, no interior do tronco do cabeço de amarração, inerentes ao carregamento crítico 1.	40
Figura 27 - Tensões principais segundo o eixo Y, situadas num corte transversal do tronco do cabeço de amarração, zona de posicionamento dos extensómetros. Resultados inerentes ao carregamento crítico 1.	40
Figura 28 - Convergência automática.	41
Figura 29 – Ferramenta de convergência automática.	42
Figura 30 - Sistema em consola representativo do tronco do cabeço de amarração.	45
Figura 31 - Vista em corte do cabeço de amarração.	46
Figura 32 - Orientação do sistema de eixos coordenados adotado, em relação a um cabeço de amarração existente do Porto de Leixões.....	47
Figura 33 - Sistema de eixos coordenados adotado.	47
Figura 34 - Decomposição da força nos diferentes eixos coordenados.	48
Figura 35 - Extensómetros.	49
Figura 36 - Mapa de distribuição de extensões antes do (Esquerda) e após (Direita) refinamento da malha.	51
Figura 37 - Extensómetro (TDG, 2023).....	54
Figura 38 - Ponte de Wheatstone (Andolfato et al., 2004).	55
Figura 39 - Representação do comportamento do material ferro fundido quando submetido a um ensaio tensão-extensão (Brauer, 2017).	61
Figura 40 - Defesa SPC 800 G2.7. Registo realizado no dia 27 do fevereiro de 2023, após visita ao local.....	63
Figura 41 - Curvas de desempenho (Thoresen, 2003).	65
Figura 42 - Capacidade de absorção das diferentes tipologias de defensas (Thoresen, 2003).....	65

Figura 43 - Processo laboratorial para determinação do rendimento da defesa (ShibataFenderTeam, 2015).	66
Figura 44 - Curva de desempenho da defesa SPC 800 G2.7 (Memória Técnica APDL, 2008).	66
Figura 45 - Acostagem de baixo contacto (Memória Técnica APDL, 2008).	67
Figura 46 - Secções transversais da geometria do módulo de borracha.	69
Figura 47 - Introdução do material "borracha" no software Ansys.	71
Figura 48 - Dimensões da defesa SPC 800 G2.7 (Memória Técnica APDL, 2008).	72
Figura 49 - Dimensões da defesa SPC 800 G2.7 (ShibataFenderTeam, 2015).	73
Figura 50 - Modelo geométrico inicial.	75
Figura 51 - Modelo geométrico após adaptações.	76
Figura 52 - Condições de apoio da estrutura real (Esquerda); Condições de apoio do modelo numérico (Direita).	77
Figura 53 - Acostagem de contacto total (Memória Técnica APDL, 2008).	78
Figura 54 - Acostagem de baixo contacto (Memória Técnica APDL, 2008).	79
Figura 55 - Acostagem horizontal (Memória Técnica APDL, 2008).	79
Figura 56 - Acostagem com rotação do navio (Memória Técnica APDL, 2008).	80
Figura 57 - Deslocamento do painel frontal e disposição de sensores (exemplo).	82
Figura 58 - Malha utilizada na análise estrutural.	83
Figura 59 - Curvas de desempenho.	84
Figura 60 - Deformada obtida por parte do modelo numérico.	85
Figura 61 - Deformada da defesa marítima durante ensaios laboratoriais (ShibataFenderTeam, 2015).	85
Figura 62 - Modelo geométrico após adaptações.	87
Figura 63 - Introdução do material "Borracha" no software.	87
Figura 64 - Introdução do material "Borracha" no software.	88
Figura 65 - Curvas de desempenho.	88
Figura 66 - Curvas de desempenho.	90
Figura 67 - Deformação da estrutura para o caso de carga 1.	90

Figura 68 - Curva de desempenho da estrutura para o caso de carga 2.....	91
Figura 69 - Deformação da estrutura para o caso de carga 2.....	92
Figura 70 - Curva de desempenho da estrutura para o caso de carga 3.....	92
Figura 71 - Deformação da estrutura para o caso de carga 3.....	93
Figura 72 - Curva de desempenho da estrutura para o caso de carga 4.....	93
Figura 73 - Deformação da estrutura para o caso de carga 4.....	94
Figura 74 - Casos de carga. (1) Acostagem de contacto total; (2) Acostagem de baixo contacto; (3) Acostagem horizontal; (4) Acostagem com rotação do navio.....	95
Figura 75 – Curvas de desempenho dos diferentes casos de carga.	96
Figura 76 - Possibilidade de posicionamento dos sensores de proximidade ultrassónicos.....	98
Figura 77 - Sensor de proximidade ultrassónico (Botnroll, 2023).	99
Figura 78 - Expressão de cálculo da velocidade de propagação do som (Hauptmann et al. 2002).	99
Figura 79 – Comunicação e transmissão de dados entre as diversas estruturas existentes na infraestrutura portuária (Construction Week, 2011).	105
Figura 80 – Idealização dos sistemas de monitorização autónomos para estruturas portuárias inteligentes. Componentes: Z – Placa de rede ZigBee e dispositivos de conversão de sinal; B – Baterias; S – Sensores; P – Painel Solar.	106

Lista de tabelas

Tabela 1 - Coordenadas do ponto de aplicação referente ao caso de carga.	27
Tabela 2 - MBL correspondentes a diferentes tipologias de navio (Broos et al, 2018).	29
Tabela 3 - Estados limite (serviço - ELS, últimos - ELU e acidentais – ELA) para dimensionamento de um cabeço de amarração (Broos et al, 2018).	29
Tabela 4 - Inclinação e orientação dos diferentes casos de carga.	31
Tabela 5 – Resumo dos diferentes casos de carga.	31
Tabela 6 - Coordenadas dos pontos do modelo representativos dos extensómetros.	33
Tabela 7 - Solicitações consideradas para o caso de carga.	34
Tabela 8 – Carregamentos críticos.	37
Tabela 9 – Resultados obtidos pré e pós refinamento da malha.	43
Tabela 10 - Pontos coordenados dos extensómetros, segundo sistema de eixos coordenados adotado.	49
Tabela 11 - Extensões obtidas a partir do modelo numérico.	50
Tabela 12 – Dados necessários à aplicação do modelo analítico.	50
Tabela 13 - Resultados obtidos.	50
Tabela 14 - Fator de sensibilidade "K" para extensómetros elétricos, consoante material e composição utilizados na sua conceção. Tabela adaptada de Dally et al., 1993.	56
Tabela 15 - Características das diferentes gamas de extensómetros (Andolfato et al., 2004).	57
Tabela 16 - Possibilidades de zonas de colocação dos extensómetros e respetivas vantagens e desvantagens.	58
Tabela 17 - Especificações de um extensómetro empresa HBM (Hottinger Baldwin Messtechnik).	59
Tabela 18 - Cálculo da resolução do sistema de monitorização inteligente selecionando conversores de sinal de 24 bits e 16 bits.	60
Tabela 19 - Dados da curva de desempenho da estrutura real.	70
Tabela 20 - Variáveis de cálculo do módulo de elasticidade.	70
Tabela 21 - Dados auxiliares à metodologia de cálculo.	82
Tabela 22 - Exemplos de modelos de sensores de proximidade ultrassónicos.	101

Tabela 23 - Solicitações aplicadas no cabeço de amarração, aquando da análise numérica.	111
Tabela 24 - Resultados das diversas solicitações	113
Tabela 25 - Componentes para elaboração de sistemas de monitorização autónomos, para estruturas portuárias inteligentes.	162

Capítulo 1

1.1. Introdução

A partir da década de 1980, as infraestruturas portuárias e o transporte marítimo adquiriram uma enorme relevância no contexto do comércio global. Consequentemente, surgiram transformações nas estruturas portuárias, com vista ao aumento da produtividade e no melhoramento da eficiência dos processos. Além disso, a introdução da tecnologia desempenhou um papel fundamental na obtenção de dados essenciais ao melhoramento da organização das diversas atividades, resultando na aceleração nos processos de embarque e desembarque (Queiróz et al., 2018). Por outro lado, nos últimos 15 anos, houve um aumento de aproximadamente 53% no número de embarcações na frota mundial e um aumento de 47% na sua tonelagem bruta. Estes aumentos resultaram num incremento significativo dos acidentes marítimos em redor do mundo (Marino et al., 2023).

O setor marítimo enfrenta atualmente diversos desafios relacionados com um aumento na frequência de acidentes tanto no transporte marítimo como nos portos (Global Risk Reports, 2016). Segundo Berg (2013), o sistema de transporte marítimo é considerado 25 vezes mais arriscado do que o sistema de transporte aéreo, face aos registos de morte a cada 100 km. Desde modo, compreender o papel dos fatores humanos e da cultura de segurança nas organizações, torna-se uma questão prioritária para este setor (Corrigan et al., 2020).

De acordo com estatísticas internacionais, as principais causas de acidentes em portos são escorregamentos, tropeções e quedas (IMO, 2006), assim como ser atingido por objetos em movimento ou em queda (International Shipping Federation, ISF, 2011). Além disso, existe uma tendência crescente de acidentes que envolvem a utilização de equipamento portuários, resultando em lesões grandes ou até fatais (Darbra et al., 2006). Uma variedade de fatores contribui para a ocorrência dos acidentes mencionados, entre os quais: carência de uma cultura de segurança, inadequada avaliação de riscos e gestão de operações, procedimentos operacionais inadequados, utilização de equipamentos portuários mais rápidos e robustos, aumento no fluxo de movimentação de cargas e condições meteorológicas mais extremas (International Shipping Federation, ISF, 2011).

Consequentemente, é fundamental reconhecer os portos e docas como ambientes potencialmente perigosos e arriscados, é extremamente importante promover uma cultura de segurança

e fornecer às estruturas portuárias ferramentas capazes de auxiliar na prevenção de acidentes, na proteção de vidas e recursos deste setor.

1.2. Objetivos

Esta dissertação tem como objetivo contribuir para o desenvolvimento de sistemas de monitorização e gestão inteligente de estruturas portuárias. Nestas estruturas existem elementos particularmente esforçados e que estabelecem o contacto/ligação entre as embarcações e as estruturas que as albergam, nomeadamente cabeços de amarração e defensas marítimas. Deste modo, tirando partido da posição privilegiada destes elementos, os objetivos deste trabalho são:

- Idealizar e testar um sistema de monitorização autónomo para cabeços de amarração inteligentes.
- Idealizar e testar um sistema de monitorização autónomo para defensas marítimas inteligentes.
- Analisar a viabilidade da utilização dos cabeços e defensas inteligentes, de forma distribuída e extensiva, para a monitorização inteligente de estruturas portuárias.

O sistema será implementado através da instalação de sensores específicos para cada elemento, possibilitando a obtenção de dados em tempo real. A análise dos dados adquiridos permite prever possíveis roturas destas estruturas, analisar a necessidade de manutenção das mesmas, e ainda determinar a magnitude da carga exercida nos cabeços de amarração.

O trabalho a ser desenvolvido pode ser agrupado em duas fases distintas. Inicialmente, tirando partido de um modelo numérico representativo do cabeço de amarração, será desenvolvido um estudo do comportamento desta estrutura quando submetida a diversas solicitações. Nesta fase o objetivo passa por determinar os locais da estrutura onde são registados os maiores valores de tensão e extensão. Posteriormente, será desenvolvido um sistema de cálculo capaz de determinar diferentes características da solicitação exercida no cabeço de amarração, tirando partido das extensões medidas em tempo real por parte do sistema de monitorização inteligente.

Numa segunda fase, será desenvolvido um modelo numérico que pretende simular o comportamento de uma defesa marítima. A partir deste modelo, o objetivo é analisar o comportamento da estrutura para diferentes tipologias de acostagem, perceber a grandeza da sua deformação e compreender de que forma a integridade desta estrutura é afetada pelas diferentes solicitações exercidas, assim como avaliar a possibilidade de antecipar a sua rotura ou estimar a solicitação sobre o cais.

De notar que em ambas as fases será realizado um estudo relativo aos sensores a utilizar nas diferentes estruturas mencionadas.

Em suma, o principal objetivo da monitorização de ambas as estruturas é o de prever ou antecipar a eventual rotura das mesmas, analisar sinais de fadiga e necessidade de manutenção, e garantir a segurança dos intervenientes e das embarcações envolvidas nas operações portuárias.

1.3. Organização do documento

Este documento encontra-se dividido nos seguintes capítulos:

- Capítulo 1 – Introdução e objetivos;
- Capítulo 2 – Estado de arte;
- Capítulo 3 – Estudo estrutural do cabeço de amarração;
- Capítulo 4 – Estudo estrutural da defesa marítima;
- Capítulo 5 – Conclusões e futuros desenvolvimentos;

No primeiro capítulo, foi realizada uma introdução que evidencia a importância do transporte marítimo num contexto global, e como este é afetado pela falta de segurança e acidentes que esta origina. Além disso, são ainda descritos os objetivos do trabalho realizado, assim como detalhada a estruturação do mesmo.

O segundo capítulo é dedicado ao estado de arte, são abordados de forma geral os assuntos relacionados e indispensáveis para a realização desta dissertação. Inicialmente é realizada uma introdução relativa a infraestruturas portuárias e em específico ao Porto de Leixões. Em seguida, é analisada a operação da amarração de embarcações e respetiva metodologia de amarração, com vista à compreensão dos diferentes fatores a ter em consideração durante esta atividade. Posteriormente, são descritas as principais características relativas a estruturas como o cabeço de amarração e defensas marítimas, além de serem abordados alguns dos sistemas inteligentes existentes à data atual, relacionados com estas mesmas estruturas. Por fim, são apresentadas as boas práticas na utilização da monitorização e destacada a importância do seu uso nas atividades portuárias.

No terceiro capítulo é realizado o estudo das características do cabeço de amarração utilizado no desenvolvimento desta dissertação. De seguida são explicadas as etapas percorridas com vista à obtenção de resultados a partir do modelo numérico. Além disso descreve-se o processo de desenvolvimento do sistema de cálculo mencionado anteriormente, sendo finalmente atingida a fase de

análise de resultados. Posteriormente é analisada a sensorização do cabeço de amarração, onde são descritos aspetos relativos aos sensores implementados nesta estrutura, bem como a sua contribuição neste projeto.

O quarto capítulo é dedicado ao estudo das características da defesa marítima utilizada no desenvolvimento deste projeto. Em seguida são apresentadas as considerações e simplificações adotadas com vista ao desenvolvimento do modelo geométrico. É iniciada a análise estrutural do modelo numérico, e respetiva obtenção de resultados. Finalmente, e uma vez mais, é atingida a fase de análise de resultados obtidos. Posteriormente é abordada a sensorização do sistema de defensas.

No capítulo 5, são apresentadas as principais considerações finais do trabalho desenvolvido, terminando com a elaboração de propostas de futuros trabalhos a desenvolver, relacionados com o projeto em questão.

Capítulo 2 – Estado de arte

2.1. Estruturas Portuárias

As estruturas portuárias, atuando em muitos casos como principais responsáveis pelo comércio externo de um determinado país, exibem extrema relevância na sua economia, e por sua vez, a existência e eficácia das mesmas é determinante (Júnior et al., 2006).

Aproximadamente 85% das cargas líquidas e granéis são transportados por via marítima, devido aos baixos custos de transporte associados a este meio (Sohoni et al., 2016). A procura pela utilização deste transporte, tem vindo a aumentar com o decorrer dos anos, levando à construção de uma maior quantidade de navios, bem como ao aumento das suas dimensões. Esta evolução requer uma adaptação por parte das estruturas de acostagem (Santos et al., 2010).

No planeamento de um projeto de uma estrutura portuária, para além da relevância inerente a características como o tipo de carga a ser movimentada, o tipo de embarcações que dela tiraram proveito, condições ambientais que a caracterizam, estruturas e equipamento necessário para o seu seguro e bom funcionamento, a consideração de imensos outros fatores, com vista na eficiência das suas operações e na viabilidade técnica e economia do seu projeto, é igualmente importante (Comin & Souza, 2017).

As condições ambientais, tais como vento, ondas e correntes marítimas, originam forças na superfície do navio. Deste modo, a orientação do cais onde ocorre a atracação de navios, é definida de forma a minimizar a resultante destas forças, aquando e após a atracação das embarcações (Sohoni et al., 2016). A exigência da construção de terminais em costa aberta, devido ao manuseamento de cargas e produtos perigosos, expõe as embarcações e o próprio terminal a condições ambientais de maior amplitude, necessitando assim de atenção redobrada aquando da conceção e dimensionamento dos mesmos (Santos et al., 2010).



Figura 1 - Porto de Xangai, China - Maior porto marítimo do mundo (Olhar digital, 2022).

2.2. Porto de Leixões

O Porto de Leixões, localizado no concelho de Matosinhos, nas proximidades da cidade do Porto, é responsável por grande parte do comércio externo português, representando um papel fundamental na saúde da economia da região norte do país (Dias et al., 2009).

Sendo este, o segundo maior porto artificial do país, e tendo em conta a sua centralidade geodemografia, obrigatoriamente faz parte das importantes rotas nacionais e internacionais. Conta com 5km de cais, 60ha de terraplenos e 120ha de área molhada.

Segundo a Associação dos Portos de Portugal, o Porto de Leixões movimenta cerca de 20 milhões de toneladas de mercadorias por ano e representa 20% do Comércio Externo Português por via marítima. Passando por este, cerca de 2.700 navios por ano e todo o tipo de carga, nomeadamente: têxteis, granitos, vinhos, madeira, automóveis, cereais, sucata de ferro, sucata de vidro, ferro e aço, óleos, açúcar, torres de aerogeradores e outros componentes eólicos e produtos petrolíferos. Recebe ainda passageiros de navios de cruzeiro.

Operacional durante 365 dias por ano, o Porto de Leixões destaca-se pelo seu elevado nível de produtividade nas suas atividades, demonstrado no curto intervalo de tempo em que os navios permanecem nos diversos cais. Esta eficiência proporciona ao cliente melhores custos de operação, e possibilita a receção de uma maior quantidade de navios num curto período de tempo (Dias et al., 2009).

Por estes e por outros fatores, o porto de Leixões trata-se de uma infraestrutura portuária de enorme importância para Portugal, mas também para outros países, que fazem deste, passagem obrigatória das suas rotas.



Figura 2 - Porto de Leixões (Associação dos Portos de Portugal, 2023).

2.2.1. Cais e terminais

No Porto de Leixões, existem diversos cais e terminais, todos estes com diferentes funções e destinados a diferentes tipos de atividades e mercadorias.

- Cais Convencionais de Carga Geral e Granéis Sólidos
- Cais de movimentação de granéis líquidos
- Terminal de Petroleiros
- Terminal de Contentores
- Terminal Ro-Ro (Serviços de embarque e desembarque de carga rolante)
- Terminal Multiusos
- Terminal de Cruzeiros
- Doca de Recreio
- Porto de Pesca
- Instalações Especializadas (silos, depósitos e armazéns)

Para cada uma das diferentes atividades realizadas no Porto de Leixões, existem também diversos equipamentos, de forma a garantir a execução das mesmas de forma objetiva e segura. Equipamentos estes designados nos seguintes pontos:

- Guindastes para graneis sólidos
- Pórticos para contentores
- Sistemas de bombagem de graneis líquidos
- Instalação para o armazenamento de mercadorias
- Equipamento para manipulação de mercadorias

2.2.2. Doca 4 Norte – Terminal Cerealífero

Apesar dos diferentes cais e terminais existentes no Porto de Leixões, as estruturas mencionadas ao longo desta dissertação encontram-se em utilização na doca 4 norte, sendo esta um terminal cerealífero, dedicado sobretudo à movimentação de bens agroalimentares.

Segundo informação fornecida pela Administração dos Portos do Douro Leixões e Viana do Castelo, esta doca conta com um cais acostável com cerca de 400 metros uteis de comprimento, uma profundidade de 12 metros nas águas circundantes, e uma área total de armazenamento de cerca de 27000 m².

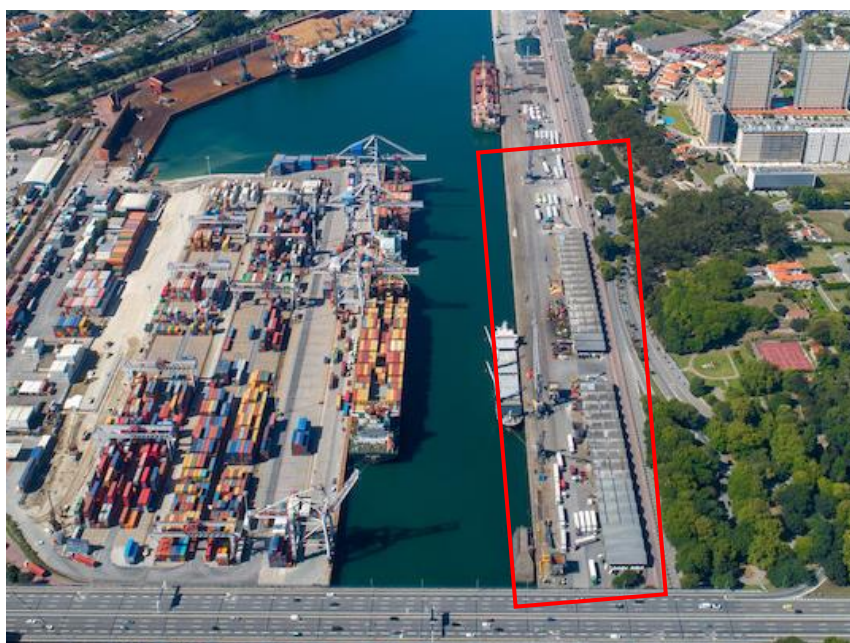


Figura 3 - Representação da doca 4 norte do Porto de Leixões (Associação dos Portos de Portugal, 2023).

2.3. Amarração de embarcações

A amarração de embarcações consiste em tirar partido da utilização de cordas, correntes e de diversas estruturas de amarração, de forma a assegurar a ligação entre os navios e as infraestruturas portuárias (Natarajan & Ganapathy, 1995).

É obrigatória a existência de estruturas de amarração tanto nos cais como nas embarcações, de forma a possibilitar a sua atracação, e desta forma evitar movimentos excessivos das mesmas devido a fatores como a corrente, o vento, alterações no nível medio das águas do mar, ondas criadas pela passagem de navios na zona próxima do local de atracação, entre outros (Cho et al., 2010). A total imobilização do navio não é necessária, estes devem ser capazes de se adaptar a alterações como o nível medio das águas do mar e a diferenças de carga resultantes dos trabalhos de carga/descarga, assim como é importante uma reduzida liberdade de movimento, aquando da atuação de forças como vento e a corrente do mar (Natarajan & Ganapathy, 1995). As cordas de amarração devem ser colocadas de acordo com determinados parâmetros, definidos para possibilitar a resistência das mesmas aos fatores mencionados anteriormente. O incumprimento destas regras pode provocar danos graves na carga, no navio ou até mesmo na tripulação e pessoas envolvidas nos trabalhos recorrentes. (Jha et al., 2020).

A operação de amarração, garante a existência de segurança e eficiência aquando dos processos de carregamento ou descarregamento de carga nas diversas embarcações (Broos et al, 2018). A importância desta operação é refletida no facto de que os movimentos excessivos dos navios originam interrupções nas atividades dos portos, e por sua vez, o aumento de custo associados à imobilização dos mesmos por períodos de tempo mais alargados (Silva et al., 2012).

As estruturas de amarração, como é o caso dos cabeços, dos guinchos de amarração, dos cabrestantes, entre outros, devem estar posicionadas e espaçadas entre si, de acordo com a tipologia de navio que irá usufruir dos mesmos. É obrigatória a compatibilidade entre dispositivos de amarração existentes no cais e nas respetivas embarcações (Santos et al., 2010).

2.3.1. Metodologia de atracação

A tipologia de navio, o seu peso, carga e velocidade com que se descola, definem a metodologia de amarração a adotar nas diversas situações. Navios de pequenas dimensões normalmente têm maior facilidade no processo de aproximação ao cais, do que navios de maior porte. Geralmente e numa primeira fase o navio, recorrendo a rebocadores ou através dos seus motores, inicia a aproximação ao

cais. Encontrando-se paralelo e a uma curta distância do mesmo, procede-se à sua imobilização. Nesta fase, de forma a obter um primeiro contacto com o cais, o navio é empurrado lentamente ao seu encontro (Sohoni et al., 2016). Este primeiro contacto acontece numa estrutura de proteção do cais, denominada de defesa marítima, cuja sua função é absorver a energia associada à velocidade do navio, de forma a minimizar potenciais estragos no casco do navio ou na estrutura de acostagem. Um sistema de defensas é dimensionado para suportar e amortecer em conjunto a movimentação dos navios antes e após a sua atracação, porém, a ligeira inclinação com que o navio se aproxima nesta fase inicial, origina um primeiro contacto com apenas uma destas estruturas, sendo necessária a consideração deste fenómeno aquando do seu dimensionamento (Sohoni et al., 2016).

Concluído o processo de atracação e respetiva amarração das embarcações, é prioritário o controlo de fatores como a existência de defeitos ou o mau estado dos dispositivos de amarração, de forma a garantir a estabilização do navio e segurança durante as atividades portuárias (Zhijian, 2009).

A eficácia de um cabo de amarração depende das suas propriedades físicas, tais como material constituinte, diâmetro e comprimento, assim como do ângulo de amarração a que este fica sujeito após atracação. A diminuição da sua resistência a cargas horizontais é diretamente proporcional ao aumento da inclinação vertical com que este é aplicado (Schellin & Ostergaard, 1995).

Segundo Yu Yang. (2001), de modo a prevenir uma eventual rotura dos cabos de amarração e consequente perda de controlo do navio atracado, deve manter-se um equilíbrio de forças exercidas em cada um destes cabos de amarração, apesar da dificuldade inerente em alcançar este objetivo (Gao et al., 2021). Considerando a amarração de diferentes cabos de amarração com inclinações idênticas num mesmo local do navio, comparando a carga suportada entre eles é possível concluir que existe um desequilíbrio, onde o cabo mais rígido, mais curto e de maior diâmetro suporta uma quantidade de força substancialmente mais elevada (Schellin & Ostergaard, 1995).

Por conseguinte, deve existir preocupação por parte dos operários da infraestrutura portuária, e pela tripulação do navio em ajustar a tensão e o ângulo de operação dos cabos de amarração, de forma a garantir uma distribuição de carga uniforme aquando da movimentação excessiva do navio e das operações de carga e descarga. Na eventual rotura de uma destas ligações, a instabilização do navio contribui para o aumento de cargas desiguais nos restantes cabos de amarração, originando a sua rotura e posterior libertação do navio (Gao et al., 2021).

Para além dos critérios inerentes à correta utilização dos cabos de amarração, a segurança da atracação de um navio é também influenciada pela utilização de estruturas como, cabeços de amarração e defensas marítimas, estruturas essas abordadas nos capítulos 2.4 e 2.5, respetivamente.



Figura 4 - Navio atracado. Registo realizado no dia 27 do fevereiro de 2023, após visita ao local.

2.4. Cabeços de amarração

O cabeço de amarração é uma estrutura existente em todos os portos marítimos, cuja sua função principal é a atracação simples e segura de navios, sendo este um dos componentes mais utilizados e mais importantes nesta atividade. Desta forma, o seu objetivo é evitar deslocações indesejadas por parte dos navios nele atracados, funcionando como uma espécie de âncora em terra, onde são fixados os cabos de amarração (Jha et al., 2020).

Normalmente construídos em ferro fundido, material que atribui a esta estrutura uma capacidade de absorver uma enorme quantidade de esforços, provenientes de diversas categorias de navios, submetidas a ações externas como vento ou correntes marítimas, originando esforços de elevada magnitude nos cabos de amarração envolventes nesta estrutura (Sohoni et al., 2016).

A libertação destes mesmos cabos de amarração é uma desvantagem associada à utilização desta estrutura. Isto deve-se ao facto desta atividade ser necessariamente realizada manualmente, em condições de baixo tensionamento destes mesmos cabos. Numa situação de emergência, na ocorrência de uma movimentação excessiva por parte das embarcações atracadas, o nível de tensionamento do cabo será sempre elevado, originando imensa dificuldade na sua libertação e associando a esta atividade um elevado grau de perigo (Santos et al., 2010).

A resistência destas estruturas varia consoante o modelo em utilização, e este é escolhido de acordo com determinados parâmetros tais como a tipologia do cais, tipologia do navio e o ângulo de amarração que se espera obter com maior frequência. Assim, é importante a definição da carga mínima de dimensionamento, capaz de atribuir a estas estruturas resistência suficiente aos esforços provenientes das diversas tipologias de navios. A carga de projeto capaz de originar a rotura dos cabeços de amarração deve ser, no mínimo, igual à carga de rotura dos cabos de amarração. Na eventual utilização de cabos de amarração cuja carga de rotura seja superior à do cabeço de amarração, a rotura desta estrutura deve ocorrer na sua base, na denominada “zona de gatilho” ou fusível, de forma a precaver eventuais danos na estrutura do cais (Thoresen, 2003).

Os cabos de amarração após atracação apresentam uma inclinação resultante da diferença de alturas entre a estrutura de amarração do navio e o cabeço de amarração. Na sua generalidade, os cabeços de amarração exibem um bom comportamento para ângulos horizontais num raio de 180°, e até 60° na vertical, porém a capacidade destas estruturas inerentes a esta característica varia consoante a tipologia adotada. A quantidade de cabeços de amarração, bem como o espaçamento entre estes, são parâmetros definidos de acordo com o comprimento do navio atracado, porém o seu espaçamento varia normalmente entre 5m a 30m (Thoresen, 2003).

2.4.1. Tipologias de cabeços de amarração

Numa infraestrutura portuária são atracadas inúmeras embarcações, com características diferentes de acordo com a sua capacidade e produto transportado. A compatibilidade entre o navio e o sistema de cabeços de amarração selecionado é um fator de enorme relevância, que por si só justifica a necessidade de diversas tipologias de cabeços, capazes de se adaptar a diferentes situações e atividades.

Conseqüentemente, enumera-se nos pontos seguintes alguns dos tipos de cabeços de amarração existentes:

- Pillar (1);
- Kidney (2);
- Double Bitt (3);
- Tee (4);
- Horn (5);
- Single Bitt (6);
- Cleat (7);



Figura 5 - Tipos de cabeços de amarração (TRELLEBORG, 2023).

2.5. Defensas marítimas

Tal como mencionado anteriormente, as defensas são estruturas responsáveis pelo primeiro contacto entre o navio e a estrutura de acostagem. As solicitações a que estas estruturas estão sujeitas podem ser resumidas em dois momentos distintos. Numa primeira fase, no momento em que ocorre o primeiro contacto entre o navio e a defesa, esta estrutura deve apresentar uma elevada rigidez, de forma a absorver a energia cinética inerente à velocidade do navio aquando da sua acostagem, atenuando o impacto e evitando danos no cais e no casco do navio (PIANC, 1995).

Numa fase seguinte, concluído o processo de atracação, de modo a minimizar os movimentos do navio, exercidos por ações externas, como o vento e a maré, o sistema de defensas deve apresentar um comportamento menos rígido (PIANC, 1995).

O painel frontal destas estruturas possibilita uma distribuição de pressões uniforme no casco do navio, exercendo ainda forças de atrito capazes de contribuir para a estabilidade deste, em relação aos movimentos horizontais, paralelos à estrutura de acostagem (Santos et al., 2010).

As correntes utilizadas nestas estruturas, contribuem para a resistência à deformação do painel frontal, especialmente nas ocasiões em que o casco do navio exerce neste uma carga não uniforme. Auxiliam também na resistência aos esforços de corte provocados pelas forças de atrito mencionadas anteriormente. Apesar do impacto positivo destas forças, no que diz respeito à estabilidade do navio durante as atividades de carga e descarga, geralmente as defensas apresentam uma fraca resistência a esforços desta natureza (Santos et al., 2010).

O processo de seleção do sistema de defensas obriga à consideração de diferentes fatores. Normalmente, os fabricantes de defensas indicam a capacidade de absorção de energia, a deformação máxima permitida, e as forças de reação transmitidas por estas estruturas ao casco do navio e às estruturas de acostagem (Sohoni et al., 2016). Associado às diversas tipologias de defensas, existe a denominada “curva de desempenho”, responsável pela representação da relação “deformação-reação”. Através da sua análise é possível avaliar a eficiência do sistema, bem como determinar a força de reação máxima transmitida à estrutura de acostagem e ao casco do navio, evitando assim potenciais danos originados pela falta de resistência destas estruturas (Santos et al., 2010).

A escolha do sistema adotado está ainda dependente da tipologia de navio, da dimensão e geometria do seu casco (existência de singularidades). Após o estudo destes fatores, é de enorme relevância a escolha de um sistema capaz de garantir um contacto uniforme entre o painel frontal das defensas e o casco do navio, possibilitando desta forma, uma distribuição de esforços uniforme para os seus apoios (Santos et al., 2010).

2.5.1. Tipologias de defensas marítimas

Novamente, pelos mesmos motivos mencionados na secção 2.4.1., é importante existir compatibilidade entre o navio e o sistema de defensas. Desta forma, nos pontos seguintes enumera-se alguns dos tipos de defensas fabricados em redor do mundo:

- Defesa cilíndrica;
- Defesa em V ou defesa em arco;
- Defesa cônica;
- Defesa modular (Tipo PI);
- Defesa de roda;
- Defesa cilíndrica axial;
- Defesa do tipo pneumática e de espuma.

As vantagens relativas a cada uma destas defensas estão relacionadas com a situação para a qual foram projetadas. Na conceção de um cais multifunções, a adoção de apenas uma tipologia de defensas não é apropriada (Leal et al., 2011).



Figura 6 - Sistema de defensas cónicas (SUNHELM, 2023).

2.6. Sistemas inteligentes

A instrumentação e monitorização de infraestruturas portuárias pode desempenhar um papel crucial na gestão mais eficiente de um porto marítimo. O desenvolvimento de sistemas automatizados e inteligentes tem como objetivo a aquisição de informação, análise e utilização desses dados, com vista na otimização de operações, melhoria da segurança e aumento da eficiência geral dos portos.

Estes sistemas recorrem a tecnologias como sensores, “Internet of things” (IoT) e análise de dados, demonstrando potencial na monitorização em tempo real de diversas atividades portuárias, recolhendo informação relativa à movimentação dos navios, aos processos de carregamento e descarregamento de cargas, às condições climáticas, entre outros. Em particular, durante e após os processos de atracação, torna-se possível determinar grandezas físicas como posição, ângulo e tensão

dos cabos de amarração, dados estes capazes de auxiliar no correto posicionamento dos navios, assim como importantes na prevenção de eventuais acidentes.

O risco associado às diferentes atividades portuárias, é um fator de enorme relevância, podendo através da utilização destes meios, ser significativamente reduzido, contribuindo ainda para o crescimento económico da estrutura portuária, uma vez que as suas operações são agora executadas com uma maior fiabilidade, diminuindo desta forma a probabilidade de acidentes e interrupção das operações (Jha et al., 2020).

Os benefícios da utilização destes sistemas estendem-se para diferentes domínios, entre os quais: a manutenção de estruturas - os dados recolhidos podem indicar sinais de desgaste sugerindo a necessidade de uma manutenção preventiva das estruturas existentes; a gestão de tráfego – os dados recolhidos auxiliam os operadores na organização das chegadas e partidas dos diversos navios, bem como no posicionamento eficiente e organizado dos mesmos.

Em suma, a utilização de sistemas inteligentes traz consigo inúmeras vantagens, promove uma gestão portuária eficiente, maior sustentabilidade e redução de custos das suas operações, impulsionando a competitividade entre portos, num contexto global.

2.6.1. Sistema de amarração automática

Este sistema consiste em utilizar um robô constituído por vários braços mecânicos, existente a bordo do navio, equipado com sensores, uma câmara e um radar. A deteção, classificação e localização dos pontos de amarração é o objetivo principal, sendo que, através deste equipamento é possível o reconhecimento do ambiente circundante, bem como a obtenção de imagens, nuvens de pontos e tensões localizadas (Jha et al., 2020).

A localização dos cabeços de amarração, é realizada através de um algoritmo capaz de representar o bordo desta estrutura em quatro pontos coordenados. A partir destes, é possível a obtenção de um ponto de referência, a deteção e classificação do cabeço de amarração, e posterior colocação do cabo de amarração em torno desta estrutura (Jha et al., 2020).

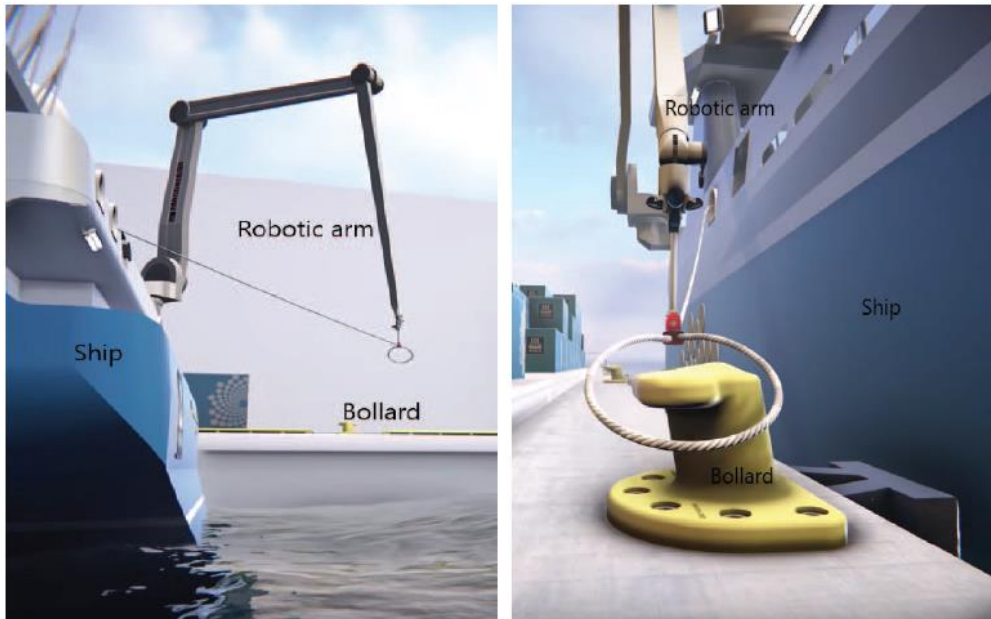


Figura 7 - Sistema de amarração automática (Jha et al., 2020) – “Amarração autônoma. (À esquerda) Apresentação conceitual a demonstrar a posição relativa do navio, o braço robótico e o cabeço de amarração; (à direita) vista ampliada (com permissão da MacGregor Norway AS).

2.6.2. Ganchos de amarração autônomos

Mais conhecidos como “Quick Release Mooring Hooks”, estas estruturas têm como funcionalidade principal a amarração de embarcações. Tradicionalmente, esta função é realizada pelos cabeços de amarração, porém o sistema de ganchos de amarração realiza as operações de amarração e libertação do navio de forma mais segura e eficaz (Santos et al., 2010).

Este sistema é composto por vários ganchos de amarração, sendo que, cada um deste é responsável pela fixação de apenas um cabo. Num sistema de cabeços de amarração convencional, uma das suas limitações é a libertação manual dos cabos de amarração, exigindo uma redução de tensão nos mesmos de forma a possibilitar essa atividade. Neste caso, cada gancho de amarração tem a capacidade de libertar separadamente e remotamente cada um dos cabos de amarração, seja em situações de alta ou baixa tensão, cenário este ideal em casos de emergência (Schellin & Ostergaard, 1995).



Figura 8 - Ganchos de desengate rápido (COPABOINFRA, 2023).

2.7. Monitorização

O principal objetivo da monitorização é adquirir informação, em tempo real ou em intervalos de tempo definidos, referentes a uma estrutura específica. Esta informação pode ser utilizada para vários objetivos, tais como: avaliação estrutural, monitorização de desempenho, tempo de vida útil, entre outros (Bragança et al., 2011).

A monitorização é realizada com recurso à utilização de sensores. Estes são escolhidos de acordo com as suas propriedades, com a meio de aplicação e principalmente com as grandezas físicas que se pretende mensurar. Desta forma, características como a elevada fiabilidade, baixa sensibilidade, alta precisão e alta durabilidade, são normalmente procuradas e fundamentais para obter qualidade nos resultados obtidos (Hauptmann et al., 2002).

O adequado funcionamento destes sistemas e técnicas de monitorização depende, em grande parte, da eficiência do hardware utilizado e do processamento de dados. Conhecimentos em diversas áreas, como engenharia estrutural e eletrónica, técnicas de modelação e simulação, processamento de dados, técnicas de comunicação e armazenamento, software, entre outras, são imprescindíveis para a monitorização. Os sensores, de modo a fornecerem informação precisa e relevante, devem ser aplicados em locais críticos da estrutura, consoante a grandeza a medir (Bragança et al., 2011).

A necessidade de controlar e avaliar a segurança das atividades portuárias, tem vindo a aumentar, devido à ocorrência de acidentes e da frequência indesejada com que estes se verificam. A monitorização possibilita a análise das condições das estruturas, permite identificar problemas existentes, reduzindo a probabilidade da ocorrência de acidentes.


A monitorização dos cabeços de amarração e defensas marítimas, será abordada com maior pormenor, nos capítulos 3 e 4, respetivamente.

Capítulo 3 - Estudo estrutural do cabeço de amarração

3.1. O cabeço de amarração

O cabeço de amarração utilizado na Doca 4 Norte do Porto de Leixões, denomina-se “T-Head Bollard”. Destaca-se pela sua versatilidade, sendo capaz de suportar cargas que variam entre as 10 e as 300 toneladas, estando aptos a dar resposta aos mais elevados ângulos de amarração (ESC Mooring Bollards Catalogue, 2022).

Trata-se de uma estrutura de desempenho ótimo nas mais diversas atividades, podendo ser utilizada em pequenos cais ou em infraestruturas portuárias de maior calibre.



SECTION	RATING (TONS)																		
	1	5	10	15	20	25	30	35	50	70	75	80	100	125	150	200	250	300	
T-Head			✓	✓		✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
T-Horn				✓				✓		✓			✓	✓		✓	✓		
Kidney				✓				✓		✓			✓			✓	✓		
Cleat	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓											
Single Bitt			✓	✓				✓		✓		✓	✓		✓	✓			
Double Bitt					✓			✓		✓		✓	✓		✓	✓			
Pillar			✓	✓				✓		✓		✓	✓		✓	✓			
Pillar Japanese Design				✓			✓	✓		✓		✓	✓		✓	✓			
T-Head Japanese		✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓			✓		✓	✓			
Design																			
Tricorn								✓		✓			✓		✓	✓	✓	✓	✓

Figura 9 - Capacidade de carga inerente a diversos cabeços de amarração de acordo com a sua geometria (ESC Mooring Bollards Catalogue, 2022).

3.1.1. Material

O ferro fundido é um material bastante utilizado no fabrico de cabeços de amarração. É composto por uma liga ternária de ferro, carbono e silício. A sua falta de ductilidade origina um comportamento frágil aquando da sua rotura. É caracterizado pela sua boa resistência à compressão, porém exibe um fraco desempenho quando tracionado (Brauer, 2017). Apesar de tudo, trata-se de um material versátil para a moldagem de geometrias complexas e capaz de oferecer uma enorme resistência mecânica à estrutura, sendo esta uma das principais razões pela qual é utilizado nos cabeços de amarração do Porto de Leixões.

O gráfico seguinte representa o comportamento do ferro fundido, numa relação tensão-extensão a variar com o tempo de carregamento (Brauer, 2017). Da leitura do respetivo gráfico, é perceptível a existência de três comportamentos distintos, relativos a diferentes velocidades de aplicação de carga. Para além do comportamento frágil verificado neste ensaio, podemos concluir que para cargas aplicadas

a uma maior velocidade, originam-se tensões máximas de maior magnitude para o mesmo nível de deformação, o que se traduz numa maior resistência mecânica.

Assim sendo, justifica-se a utilização deste material nestas estruturas, uma vez que as solicitações exercidas pela atracação dos navios são de origem repentina e de variação constante ao longo do tempo.

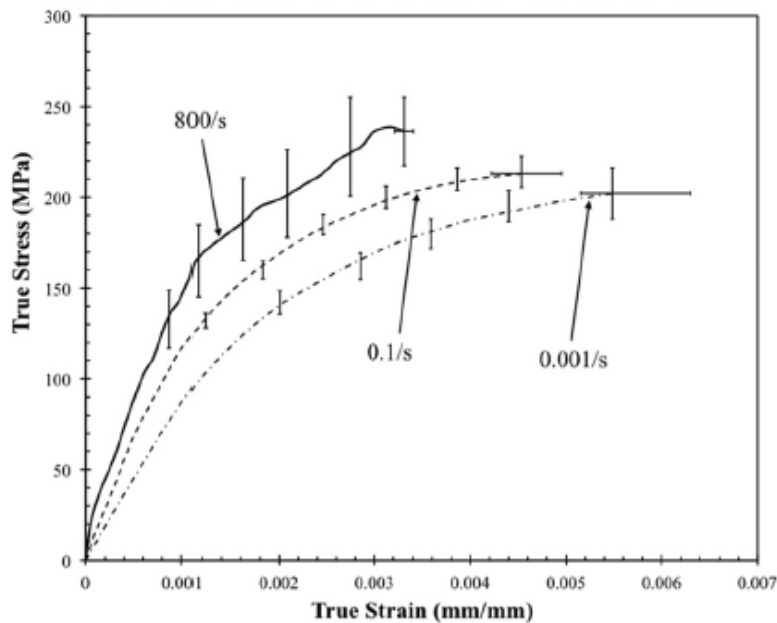


Figura 10 - Representação do comportamento do material ferro fundido quando submetido a um ensaio tensão-extensão (Brauer, 2017).

Materiais como o aço exibem também uma elevada resistência mecânica. A sua rotura dúctil e a sua resistência à corrosão são dois dos fatores que justificam a sua utilização no fabrico de cabeços de amarração. Tratando-se de uma estrutura de geometria complexa, o custo de fabrico a partir deste material é substancialmente mais elevado, devido à dificuldade inerente à sua moldagem.

A figura 11 compara algumas das características particulares de ambos os materiais mencionados anteriormente.

<i>Property</i>	<i>S.I.</i>	<i>M.I.</i>	<i>F.I.</i>	<i>C.S.</i>	<i>W.I.</i>
Castability	1	2	1	4	3
Machinability	2	2	1	3	–
Reliability	1	3	5	2	4
Vibration damping	2	2	1	4	4
Surface hardenability	1	1	1	3	–
Elastic modulus	1	2	3	1	–
Impact resistance	2	3	5	1	–
Wear resistance	2	4	3	5	1
Corrosion resistance	1	2	1	4	2
Strength/Weight ratio	1	4	5	3	–
Cost of manufacture	2	3	1	4	3

S.I. Spheroidal iron
M.I. Malleable iron
F.I. Flake iron
C.S. 0.3% C steel
W.I. White iron
1 = Best; 5 = Worst

Figura 11 - Quadro comparativo entre diferentes tipologias de ferro e aço (Elliott, 1988).

3.2. Modelação numérica

3.2.1. Objetivo

Com recurso ao programa “Ansys Structural Analysis” e a um modelo numérico representativo do cabeço de amarração, utilizado na Doca 4 norte, do Porto de Leixões, pretende-se estudar qual o comportamento típico dos cabeços de amarração para diferentes solicitações, bem como localizar as zonas onde existem maiores concentrações de tensões, extensões e deslocamentos. Após obtenção destes resultados, pretende-se também determinar a magnitude da força exercida por meio dos cabos de amarração nestas mesmas estruturas por intermédio de modelos analíticos, que numa fase subsequente e em operação permitam a obtenção desta informação em tempo real com base nas leituras dos sensores. O estudo comportamental do cabeço de amarração a partir do modelo numérico tem ainda como objetivo auxiliar na calibração de futuros ensaios laboratoriais, realizados com estruturas reais, que estavam previstos para este trabalho, mas que, entretanto, não foi possível realizar por dificuldades em aceder a um cabeço de amarração real.

3.2.2. Ansys Workbench

A plataforma “Ansys Workbench”, tem a capacidade de resolver problemas das diversas áreas da engenharia, recorrendo ao MEF (método dos elementos finitos) e fornecendo uma enorme quantidade de ferramentas capazes de modelar e simular sistemas complexos (Stolarski et al., 2006).

É nos garantida a possibilidade de trabalhar com diversas análises, tais como, transferência de calor, eletromagnéticas, problemas estruturais estáticos ou dinâmicos, entre outros.

A base da sua utilização pode ser resumida nos seguintes passos:

1) Definição do problema

Nesta fase procuramos definir o tipo de análise que pretendemos utilizar de acordo com o problema real em questão.

De forma a obter um modelo rigoroso é necessário também a definição do material a utilizar, uma vez que as propriedades dos mesmos alteram o seu comportamento e por sua vez os resultados obtidos. Existe uma panóplia de materiais previamente introduzidos no “Ansys”, podendo qualquer um destes ser utilizado. Recorrendo a propriedades representativas do comportamento real de um determinado material, é possível ainda a sua adição nesta biblioteca, podendo assim ser utilizado posteriormente.

2) Modelação

A etapa da modelação consiste na transformação da estrutura real numa geometria representativa. São disponibilizadas ferramentas de desenho capazes de retratar ao pormenor diferentes modelos.

3) Análise estrutural

Finalizada a modelação, é de enorme relevância a escolha do tipo de análise que se pretende executar e que melhor representa a realidade. Independentemente da decisão anterior, é obrigatória a definição de determinadas variáveis, entre elas, as solicitações e condições de apoio inerentes à estrutura.

4) Resultados finais

Atingida a fase final, estão agora disponíveis os resultados relacionados com o modelo em questão. Uma vez que a plataforma é capaz de entregar uma enorme quantidade informação, esta deve ser filtrada de acordo com o objetivo do estudo. É possível obter esforços, deslocamentos, extensões, tensões, mapas de temperatura, entre outras variáveis, para qualquer zona da estrutura.

3.2.3. Método dos elementos finitos

Segundo Lotti et al., (2006), o Método dos Elementos Finitos (MEF) é uma análise matemática que consiste na discretização de um meio contínuo em pequenos elementos, mantendo as propriedades do meio original. Este método permite definir a geometria através de uma malha formada pela conexão de pontos nodais ou nós, sendo que cada um destes tem um conjunto de graus de liberdade.

A criação da malha gera subdivisões na geometria denominadas de “elementos”, fazendo destes o novo meio contínuo e permitindo a resolução do problema inicial de uma forma simplificada.

A exatidão dos resultados obtidos através do método dos elementos finitos está diretamente relacionada com a malha construída. Para dimensões de elementos menores e maiores quantidades de nós, maior a precisão com que o modelo consegue resolver o problema e mais aproximados serão os resultados da realidade.

Assim como um polígono regular se aproxima de um círculo perfeito à medida que o número de lados se aproxima do infinito, um modelo de elementos finitos aproxima-se de uma representação perfeita do sistema à medida que o número de elementos se torna infinito (Thompson & Thompson, 2017).

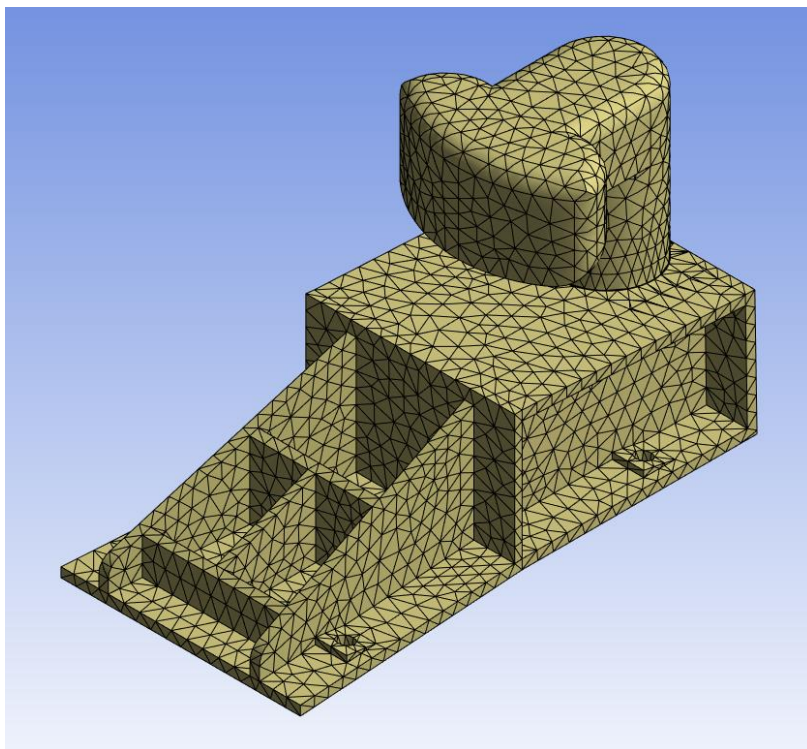


Figura 12 - Exemplo de malha utilizada no método dos elementos finitos (MEF).

O modelo numérico referido anteriormente na secção 3.2.1, foi alvo de estudo na dissertação “Estruturas de Amarração Auto-monitorizáveis para a Gestão Inteligente de Portos”, tendo sido desenvolvido no âmbito do projeto de investigação “GIIP – Intelligent Management of Port Infrastructures POCI-01-0247-FEDER-039890”, na qual se insere esta mesma dissertação. Este modelo geométrico previamente desenhado de acordo com a memória técnica do cabeço de amarração utilizado no Porto de Leixões, foi fornecido com o objetivo de tornar possível a modelação do comportamento mecânico do cabeço de amarração. Tal como referido anteriormente no ponto 3.2.2, uma primeira fase na modelação passa pela escolha do tipo de análise mais adequada fase ao problema em questão – “Static Structural Analysis”.

A escolha do material a utilizar está dependente das características do elemento real, que é constituído unicamente por ferro fundido, pelo que a opção acertada passa pela escolha do “Structural Steel”, previamente testado e incluído na biblioteca do “Ansys”.

3.3.2. Condições fronteira

O encastramento do cabeço de amarração à infraestrutura portuária é efetuado através da utilização de parafusos pré-tensionados. De modo a transferir a condição de apoio para o programa, de forma simplificada considerou-se apoios fixos nas zonas destinadas a esta ligação, representadas a azul na figura 13.

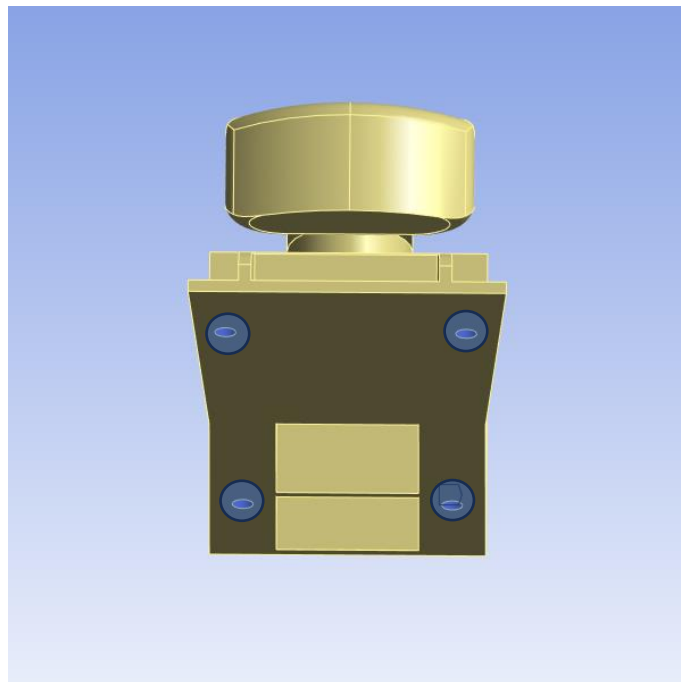


Figura 13 - Representação das condições de apoio inerentes ao modelo em estudo.

3.3.3. Solicitações exercidas no cabeço de amarração

A atracação dos navios aos diversos cabeços de amarração é realizada por meio de “cabos de amarração”, normalmente colocados em torno do tronco desta estrutura.

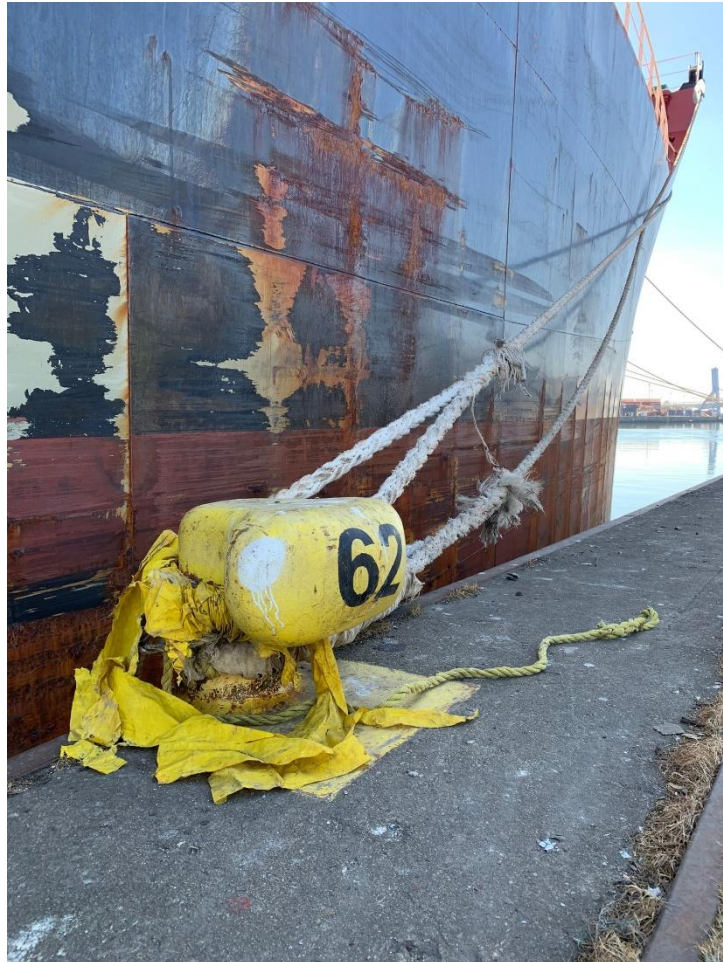


Figura 14 - Atracação de um navio por meio de um cabeço de amarração. Registo realizado no dia 27 do fevereiro de 2023, após visita ao local.

Na análise estrutural do modelo numérico é essencial representar as seguintes condições de aplicabilidade de carga: área de contacto entre o cabo e o cabeço de amarração, magnitude da força exercida, orientação e inclinação do cabo de amarração.

1) Área de aplicação de carga

O cabo de amarração exerce força numa área específica do tronco do cabeço de amarração. No modelo geométrico atual existe dificuldade em representar esta condição de aplicação de carga, dando assim origem à alteração na geometria que se explica de seguida.

O espaço vazio no interior do tronco do cabeço de amarração possibilita a colocação de um elemento circular de dimensões ajustadas ao interior desta estrutura. Desta forma, a aplicação da carga neste elemento, possibilita uma distribuição uniforme da força em torno da área de contacto entre o tronco de amarração e este mesmo elemento.

A figura 15, representa a adaptação geométrica do modelo mencionada.

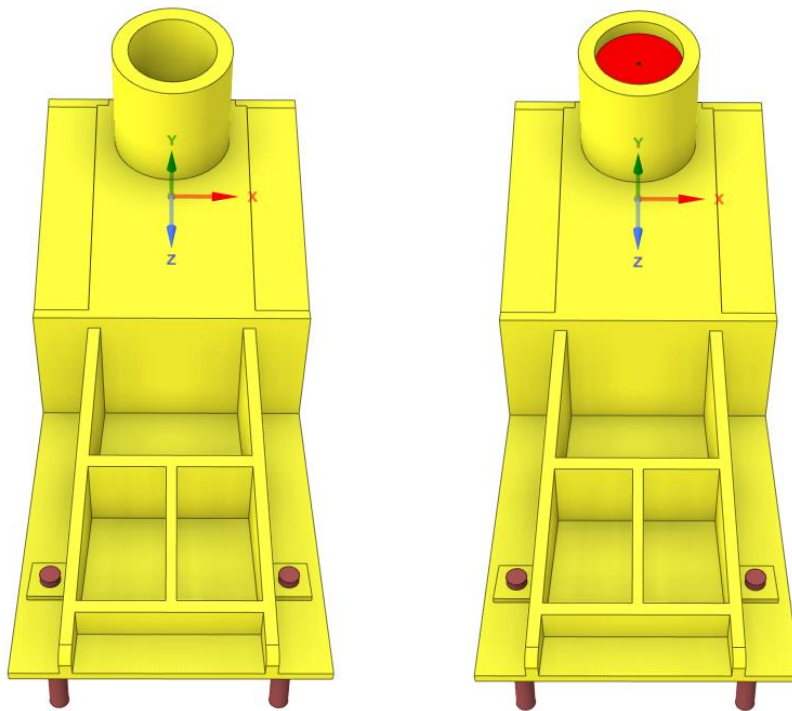


Figura 15 - Geometria inicial (Esquerda); Geometria após adaptação (Direita).

Atendendo à opção adotada anteriormente, segue-se a representação do caso de carga considerado na análise estrutural, assim como as coordenadas do ponto de aplicação do mesmo.

Tabela 1 - Coordenadas do ponto de aplicação referente ao caso de carga.

Caso de carga	Coordenadas do ponto de aplicação		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
1	0	685	158

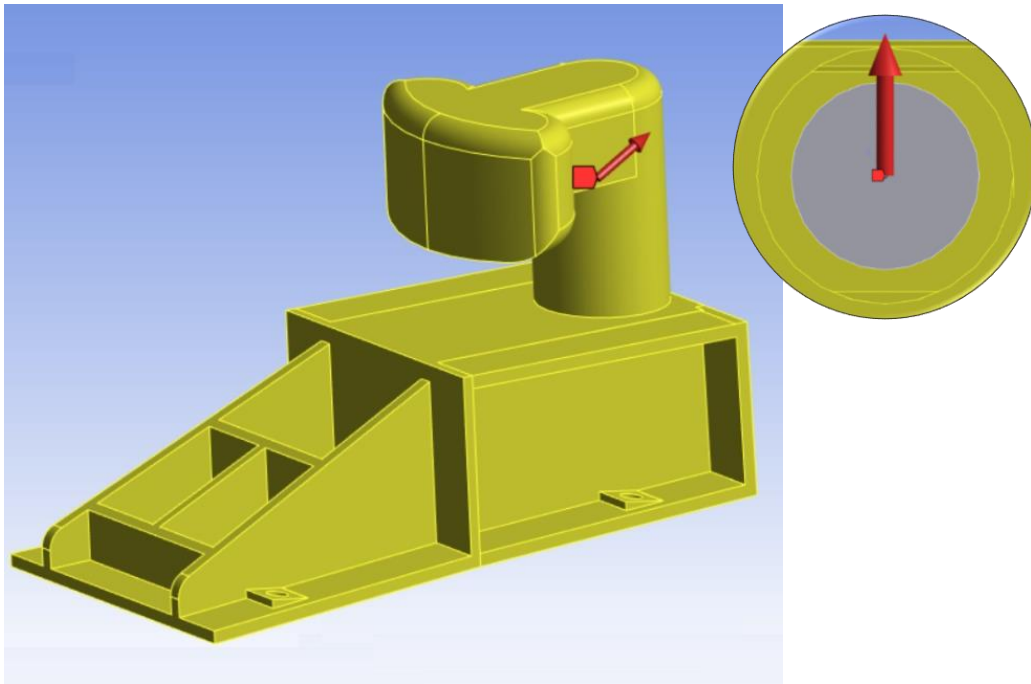


Figura 16 - Exemplo de solicitação referente ao caso de carga (Esquerda); Vista superior do ponto de aplicação da carga (Direita).

2) Magnitude da carga aplicada

O sistema de amarração é constituído por três elementos principais: cabos, guinchos e cabeços de amarração. Os cabos de amarração representam o elemento de ligação entre o navio e a infraestrutura portuária, sendo a carga capaz de originar a sua rotura, denominada de “Minimum Breaking Load (MBL)” e a carga considerada para o seu funcionamento em segurança, denominada de “Minimum Working Load (MWL)” (Broos et al, 2018).

Um guincho de amarração tem duas funcionalidades distintas, “Auto tension function” e “brake function”. A capacidade de carga desta estrutura aumenta em resultado da “brake function”, porém esta rende-se ao atingir cargas na ordem de 50% a 60% da MBL do cabo de amarração (Broos et al, 2018).

Desta forma, as tabelas 2 e 3 resumem qual o carregamento a considerar para o dimensionamento do cabeço de amarração, considerando uma estimativa da quantidade de cabos de amarração utilizado no cabeço em questão, assim como a tipologia de navio atracado.

Tabela 2 - MBL correspondentes a diferentes tipologias de navio (Broos et al, 2018).

Navios	Tonelagem bruta (ton)	Comprimento total (m)	Largura (m)	Altura do calado (m)	Carga mínima de rotura (MBL - Cabos de amarração)	Carga de dimensionamento do cabeço de amarração (kN)
“Coaster”	6,200 – 15,000	107 – 150	17.20 – 23.00	7.70 – 9.10	50 ton	900 kN
“Feeder”	17,700 – 38,500	160 – 220	25.00 – 30.00	9.50 – 12.00	50 ton	900 kN
“Panamax”	38,500 – 66,000	211 – 294	32.20	12.00 – 13.50	64 ton	1152 kN
“Post-Panamax”	70,000 - 118,000	263 – 334	40.00 – 45.60	14.00 – 14.50	83 ton	1494 kN
“New-Panamax”	143,000 – 157,000	366	48.40	15.00 – 16.50	130 ton	2340 kN
“ULCS”	171,000 – 195,000	397 – 430	56.40 – 59.00	16.00	130 ton	2340 kN

Tabela 3 - Estados limite (serviço - ELS, últimos - ELU e acidentais – ELA) para dimensionamento de um cabeço de amarração (Broos et al, 2018).

	Fórmula	2 Cabos	3 Cabos	4 Cabos
ELS	$N \times 0.6 \times MBL$	1.2 MBL	1.8 MBL	2.4 MBL
ELU	$1.5 \times N \times 0.6 \times MBL$	1.8 MBL	2.7 MBL	3.6 MBL
ELA	$2 \times MBL + (N-2) \times 0.6 \times MBL$	2 MBL	2.6 MBL	3.2 MBL

Considerando a fórmula inerente aos estados limite últimos (ELU), e uma tipologia de navio “Coaster”, obtemos uma carga de dimensionamento de 90 ton.

$$MLB = 50 \text{ ton}$$

$$N = 2 \text{ cabos}$$

$$1.5 * 2 * 0.6 * 50 = 90 \text{ ton} = 882900 \text{ N}$$

3) Orientação e inclinação

Uma vez definida a magnitude e o ponto de aplicação da carga, o passo seguinte relaciona-se com a análise das inclinações e orientações da solicitação.

Para além dos cabeços de amarração existentes na infraestrutura portuária, é necessária a presença destas mesmas estruturas nos navios, de modo a ser possível a sua amarração. A diferença de cotas entre ambos os pontos de amarração induz uma inclinação nos cabos de amarração, dependente de fatores como a altura entre o convés do navio e o cais, e a altura do nível médio das águas do mar.

A amarração do navio é uma tarefa que requer a utilização de vários cabeços de amarração. De acordo com a tipologia de navio, os cabeços de amarração devem ser espaçados entre 5 e 30 metros (Thoresen, 2003). Na doca 4 Norte do Porto de Leixões, existe um espaçamento de 50 metros entre os diversos cabeços de amarração existentes. O posicionamento destas estruturas, relativamente ao navio, varia consoante o local de atracação. Consequentemente, para diferentes cabeços de amarração obtemos diferentes orientações no cabo de amarração.

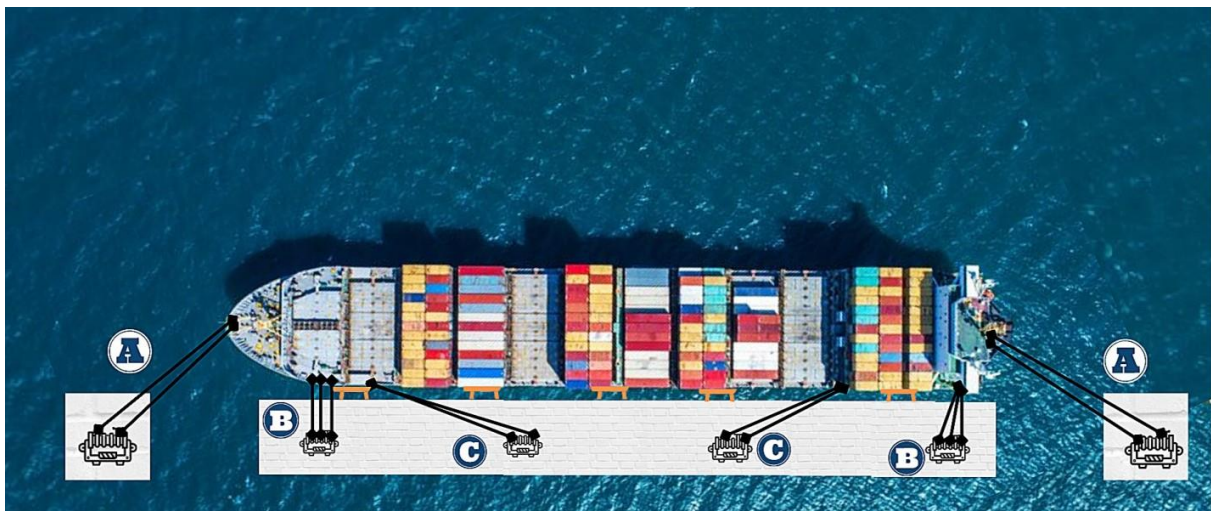


Figura 17 - Posicionamento relativo dos cabeços de amarração (Vitor Santos, 2021).

Segundo Thoresen (2003), as cargas de amarração podem atuar em qualquer orientação, num raio de 180° em redor do cabeço de amarração. Verticalmente podem variar até 60° , conforme demonstrado na figura 18.

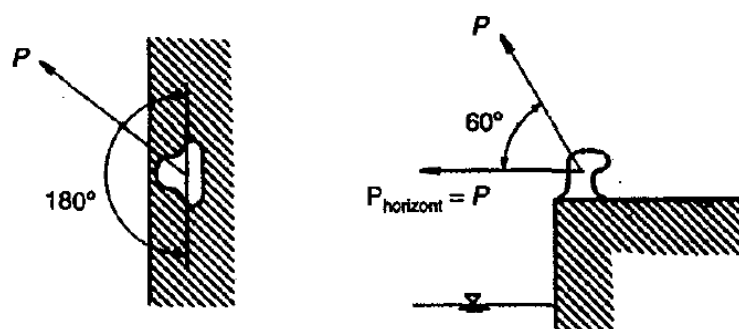


Figura 18 - Direções inerentes à carga de amarração (Thoresen, 2003).

Desta forma, as inclinações e orientações adotadas na análise estrutural são resumidas na tabela seguinte.

Tabela 4 - Inclinação e orientação dos diferentes casos de carga.

Caso de Carga	Inclinação vertical	Orientação horizontal
1	De 0° a 60°	De 0° a 180°

Em suma, uma vez concluído o estudo inerente às solicitações exercidas no cabeço de amarração, segue na tabela abaixo as hipóteses de carga consideradas nesta análise estrutural.

Tabela 5 – Resumo dos diferentes casos de carga.

Caso de carga	Força (N)	Inclinação vertical	Orientação horizontal
1	882900	0°	0° a 180°
		15°	0° a 180°
		30°	0° a 180°
		45°	0° a 180°
		60°	0° a 180°

3.3.4. Instrumentação

A perspetiva de recorrer a instrumentação para obter informação relativa ao uso do cabeço de amarração pode conduzir a diferentes abordagens possíveis. No contexto de um cabeço de amarração, apresenta-se como viável a abordagem de recorrer extensómetros colocados em zonas previamente estudadas do cabeço de amarração, a partir dos quais se espera obter as extensões em tempo real, de forma a analisar o seu funcionamento e de prever uma eventual rotura destas mesmas estruturas.

A existência de diferentes variedades de extensómetros requer um estudo detalhado das suas características de modo a efetuar a escolha mais adequada consoante o objetivo em questão. E se pretendemos analisar o comportamento do cabeço de amarração em tempo real e prevenir uma possível rotura, é essencial garantir que a gama de funcionamento do sistema de medição, que inclui o extensómetro, é compatível com a gama de extensões esperadas no cabeço de amarração. Além disso, é essencial garantir que o sistema de aquisição apresente uma resolução adequada para a determinação

de extensões de menor magnitude, correspondentes a casos de carga de inferior intensidade, que ocorrem durante a sua utilização corrente.

Por meio da utilização do software “Ansys”, é possível determinar extensões em várias zonas da estrutura, para diferentes casos de carga. Desta forma, após a obtenção desta informação, existe uma maior facilidade na escolha do tipo de extensómetro a utilizar, uma vez que a resolução de funcionamento e alongamento máximo do mesmo se podem relacionar diretamente com estes resultados.

Definido o local de colocação destes sensores, é importante a sua representação no modelo em estudo. Através de alterações na geometria do modelo inicial, utilizando a ferramenta “SpaceClaim”, responsável pela criação da geometria, é possível a colocação de “pontos” na posição prevista para colocação dos extensómetros. Assim, após as alterações necessárias, estes elementos passam a integrar o modelo numérico do cabeço de amarração, facilitando a obtenção de extensões.

A figura 19 representa a alteração da geometria mencionada anteriormente, onde os pontos verdes simbolizam os extensómetros colocados. Na tabela 6 são listadas as coordenadas correspondentes aos pontos referidos.

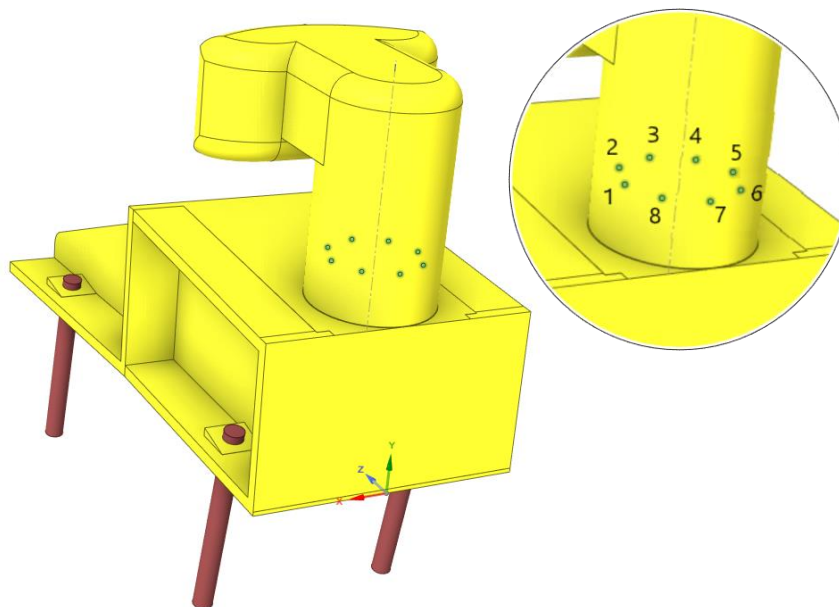


Figura 19 - Pontos do modelo representativos dos extensómetros.

Tabela 6 - Coordenadas dos pontos do modelo representativos dos extensómetros.

Extensómetro	Coordenadas		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
1	110	507,91	158
2	77,88	507,91	235,78
3	0	507,91	268
4	-77,78	507,91	235,78
5	-110	507,91	158
6	-77,78	507,91	80,22
7	0	507,91	48
8	77,78	507,91	80,22

3.3.5. Obtenção de resultados

A utilização do método dos elementos finitos (MEF) tem por base a criação de uma malha, constituída por pontos nodais conectados entre si, originando por sua vez subdivisões denominadas de “elementos”. Tal como referido anteriormente, a precisão dos resultados obtidos através deste método, é tanto maior quanto maior for a quantidade de pontos nodais e de elementos da malha.

Porém, existem limitações relacionadas com a pormenorização da mesma, entre as quais o tempo de computação necessário à resolução de cálculos relacionados com o modelo em questão. Desta forma, considerando o número elevado de solicitações admitidas neste estudo, a obtenção de resultados será repartida em duas fases distintas:

- 1) Utilização de uma malha de refinamento intermédio, capaz de entregar resultados suficientemente precisos para análise.
- 2) Utilização de uma malha refinada através da ferramenta de convergência automática, incluída no programa de cálculo, para obtenção e análise de resultados relativos aos casos de carga capazes de gerar maiores tensões e extensões – carregamentos críticos.

A simulação das diferentes solicitações foi feita recorrendo à decomposição da carga em relação aos diferentes eixos coordenados, de acordo com a sua inclinação e orientação. A tabela seguinte agrupa todos os casos de carga considerados na primeira fase mencionada anteriormente.

Tabela 7 - Solicitações consideradas para o caso de carga.

Caso de carga	Força (N)	Orientação horizontal (°) – Plano XZ	Inclinação Vertical (°) – Plano XY	Força segundo eixo X (N)	Força segundo eixo Y (N)	Força segundo eixo Z (N)
1	882900	0	0	882900	0	0
		15	0	852816	0	-228511
		30	0	764614	0	-441450
		45	0	624305	0	-624305
		60	0	441450	0	-764616
		75	0	228511	0	-852816
		90	0	0	0	-882900
		105	0	-228511	0	-852816
		120	0	-441450	0	-764614
		135	0	-624305	0	-624305
		150	0	-764614	0	-441450
		165	0	-852816	0	-228511
		180	0	-882900	0	0
		0	15	852816	228511	0
		15	15	823757	228511	-220725
		30	15	738560	228511	-426408
		45	15	603032	228511	-603032
		60	15	426408	228511	-738560
		75	15	220725	228511	-823757
		90	15	0	228511	-852816
		105	15	-220725	228511	-823757
		120	15	-426408	228511	-738560
		135	15	-603032	228511	-603032
		150	15	-738560	228511	-426408
		165	15	-823757	228511	-220725
		180	15	-852816	228511	0
		0	30	764614	441450	0
		15	30	738560	441450	-197897
		30	30	662175	441450	-382307
		45	30	540664	441450	-540664
		60	30	382307	441450	-662175
		75	30	197897	441450	-738560
		90	30	0	441450	-764614
		105	30	-197897	441450	-738560
		120	30	-382307	441450	-662175
		135	30	-540664	441450	-540664
		150	30	-662175	441450	-382307
		165	30	-738560	441450	-197897
		180	30	-764614	441450	0
		0	45	624305	624305	0
		15	45	603032	624305	-164582
		30	45	540664	624305	-312152

		45	45	441450	624305	-441450
		60	45	312152	624305	-540664
		75	45	161582	624305	-603032
		90	45	0	624305	-624305
		105	45	-161582	624305	-603032
		120	45	-312152	624305	-540664
		135	45	-441450	624305	-441450
		150	45	-540664	624305	-312152
		165	45	-603032	624305	-161582
		180	45	-624305	624305	0
		0	60	441450	764614	0
		15	60	426408	764614	-114256
		30	60	382307	764614	-220725
		45	60	312152	764614	-312152
		60	60	220725	764614	-382307
		75	60	114256	764614	-426408
		90	60	0	764614	-441450
		105	60	-114256	764614	-426408
		120	60	-220725	764614	-382307
		135	60	-312152	764614	-312152
		150	60	-382307	764614	-220725
		165	60	-426408	764614	-114256
		180	60	-441450	764614	0
		0	75	228511	852816	0
		15	75	220725	852816	-59143
		30	75	197897	852816	-114256
		45	75	161582	852816	-161582
		60	75	114256	852816	-197897
		75	75	59143	852816	-220725
		90	75	0	852816	-228511
		105	75	-59143	852816	-220725
		120	75	-114256	852816	-197897
		135	75	-161582	852816	-161582
		150	75	-197897	852816	-114256
		165	75	-220725	852816	-59143
		180	75	-228511	852816	0

Relativamente aos parâmetros de entrada para construção da malha inicial, considerando o seu posterior refinamento, optou-se por manter as definições padrão representadas na figura 20. No menu “Statistics”, obtemos informação relativa à quantidade de elementos e nós constituintes desta malha.

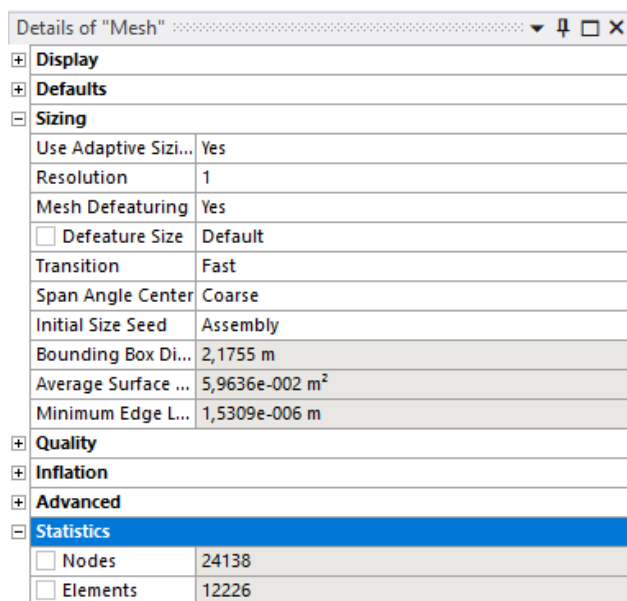


Figura 20 – Definições da malha inicial.

Tenciona-se obter os seguintes resultados: tensões máximas na globalidade da estrutura e extensões nos pontos representativos dos extensómetros. Após a obtenção e análise dos respetivos resultados, torna-se possível a identificação dos casos de carga capazes de originar maiores tensões e extensões.

Relativamente às tensões máximas, o programa de cálculo refere automaticamente a zona onde se encontra a tensão de maior magnitude.

O cabeço de amarração apresenta deformadas de acordo com a solicitação à qual é submetido, desta forma é necessário medir extensões correspondentes aos diferentes eixos coordenados. Para cada extensómetro representado na figura 19, obtém-se três diferentes resultados (extensões máximas segundo o eixo X, Y e Z).

Desta forma, da aplicação das diversas solicitações e obtenção dos respetivos resultados, surgiram dois carregamentos críticos, escolhidos através de dois critérios: maior tensão máxima exercida na zona do tronco do cabeço de amarração e maior extensão máxima obtida para qualquer eixo, nos pontos representativos dos extensómetros.

De seguida, representa-se os carregamentos críticos e respetivos resultados.

Tabela 8 – Carregamentos críticos.

Carregamento crítico	Caso de carga	Força (N)	Orientação horizontal (°)	Inclinação vertical (°)	Força segundo eixo X (N)	Força segundo eixo Y (N)	Força segundo eixo Z (N)
1	1	882900	180	15	-852816	228511	0
2		882900	15	15	823757	228511	-220725

Tensão Máxima Maximum	1,0023E+09	Pa
Extensão Máxima Maximum	0,0050207	m m ⁻¹
Extensão - Ponto 1 Maximum Normal - X Axis	-0,00011652	m m ⁻¹
Extensão - Ponto 1 Maximum Normal - Y Axis	0,00028496	m m ⁻¹
Extensão - Ponto 1 Maximum Normal - Z Axis	-1,3151E-05	m m ⁻¹
Extensão - Ponto 2 Maximum Normal - X Axis	-6,3946E-05	m m ⁻¹
Extensão - Ponto 2 Maximum Normal - Y Axis	0,00014173	m m ⁻¹
Extensão - Ponto 2 Maximum Normal - Z Axis	-5,0839E-05	m m ⁻¹
Extensão - Ponto 3 Maximum Normal - X Axis	-4,7871E-06	m m ⁻¹
Extensão - Ponto 3 Maximum Normal - Y Axis	7,5942E-05	m m ⁻¹
Extensão - Ponto 3 Maximum Normal - Z Axis	-2,8941E-05	m m ⁻¹
Extensão - Ponto 4 Maximum Normal - X Axis	4,7491E-05	m m ⁻¹
Extensão - Ponto 4 Maximum Normal - Y Axis	-2,1944E-05	m m ⁻¹
Extensão - Ponto 4 Maximum Normal - Z Axis	4,6067E-05	m m ⁻¹
Extensão - Ponto 5 Maximum Normal - X Axis	6,261E-05	m m ⁻¹
Extensão - Ponto 5 Maximum Normal - Y Axis	-0,00019297	m m ⁻¹
Extensão - Ponto 5 Maximum Normal - Z Axis	4,9715E-05	m m ⁻¹
Extensão - Ponto 6 Maximum Normal - X Axis	3,7885E-06	m m ⁻¹
Extensão - Ponto 6 Maximum Normal - Y Axis	-0,00020092	m m ⁻¹
Extensão - Ponto 6 Maximum Normal - Z Axis	2,4138E-06	m m ⁻¹
Extensão - Ponto 7 Maximum Normal - X Axis	-1,8617E-05	m m ⁻¹
Extensão - Ponto 7 Maximum Normal - Y Axis	-2,3545E-05	m m ⁻¹
Extensão - Ponto 7 Maximum Normal - Z Axis	1,6299E-05	m m ⁻¹
Extensão - Ponto 8 Maximum Normal - X Axis	1,1224E-05	m m ⁻¹
Extensão - Ponto 8 Maximum Normal - Y Axis	0,00018291	m m ⁻¹
Extensão - Ponto 8 Maximum Normal - Z Axis	1,6772E-05	m m ⁻¹

Figura 21 - Resultados carregamento crítico 1.

Tensão Máxima Maximum	8,6393E+08	Pa
Extensão Máxima Maximum	0,0043499	m m ⁻¹
Extensão - Ponto 1 Maximum Normal - X Axis	6,5013E-05	m m ⁻¹
Extensão - Ponto 1 Maximum Normal - Y Axis	-0,0001974	m m ⁻¹
Extensão - Ponto 1 Maximum Normal - Z Axis	5,0616E-05	m m ⁻¹
Extensão - Ponto 2 Maximum Normal - X Axis	4,8448E-05	m m ⁻¹
Extensão - Ponto 2 Maximum Normal - Y Axis	-2,8797E-05	m m ⁻¹
Extensão - Ponto 2 Maximum Normal - Z Axis	4,605E-05	m m ⁻¹
Extensão - Ponto 3 Maximum Normal - X Axis	-2,1917E-05	m m ⁻¹
Extensão - Ponto 3 Maximum Normal - Y Axis	7,8675E-05	m m ⁻¹
Extensão - Ponto 3 Maximum Normal - Z Axis	-2,4067E-05	m m ⁻¹
Extensão - Ponto 4 Maximum Normal - X Axis	-5,9911E-05	m m ⁻¹
Extensão - Ponto 4 Maximum Normal - Y Axis	0,00013443	m m ⁻¹
Extensão - Ponto 4 Maximum Normal - Z Axis	-5,3579E-05	m m ⁻¹
Extensão - Ponto 5 Maximum Normal - X Axis	-0,00011662	m m ⁻¹
Extensão - Ponto 5 Maximum Normal - Y Axis	0,00027907	m m ⁻¹
Extensão - Ponto 5 Maximum Normal - Z Axis	-7,535E-06	m m ⁻¹
Extensão - Ponto 6 Maximum Normal - X Axis	-4,6309E-06	m m ⁻¹
Extensão - Ponto 6 Maximum Normal - Y Axis	0,00019345	m m ⁻¹
Extensão - Ponto 6 Maximum Normal - Z Axis	1,8233E-05	m m ⁻¹
Extensão - Ponto 7 Maximum Normal - X Axis	-9,7548E-06	m m ⁻¹
Extensão - Ponto 7 Maximum Normal - Y Axis	-2,0387E-05	m m ⁻¹
Extensão - Ponto 7 Maximum Normal - Z Axis	1,1936E-05	m m ⁻¹
Extensão - Ponto 8 Maximum Normal - X Axis	-1,1437E-05	m m ⁻¹
Extensão - Ponto 8 Maximum Normal - Y Axis	-0,00018874	m m ⁻¹
Extensão - Ponto 8 Maximum Normal - Z Axis	1,7593E-06	m m ⁻¹

Figura 22 – Resultados carregamento crítico 2.

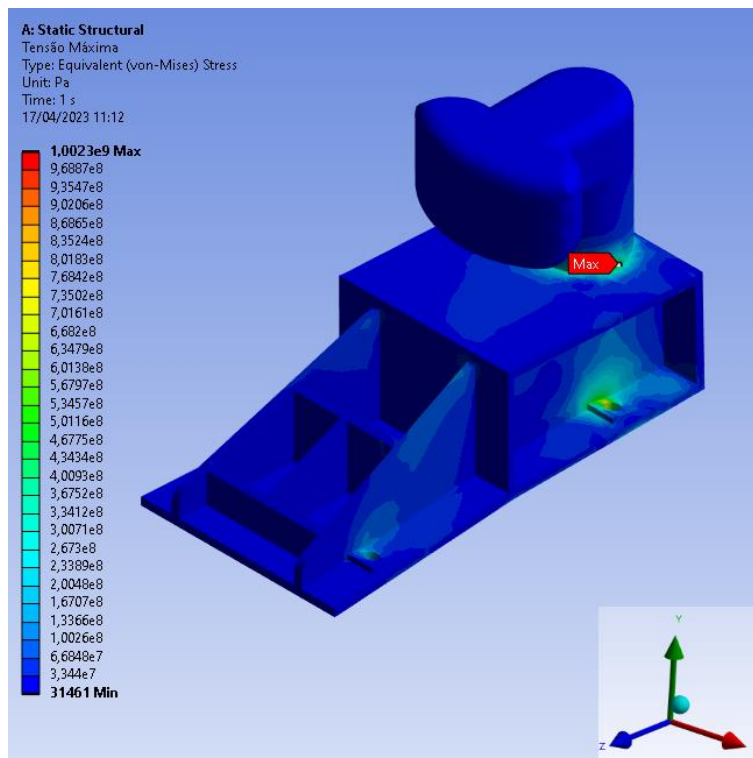


Figura 23 – Tensões máximas equivalente de Von-Mises inerente ao carregamento crítico 1.

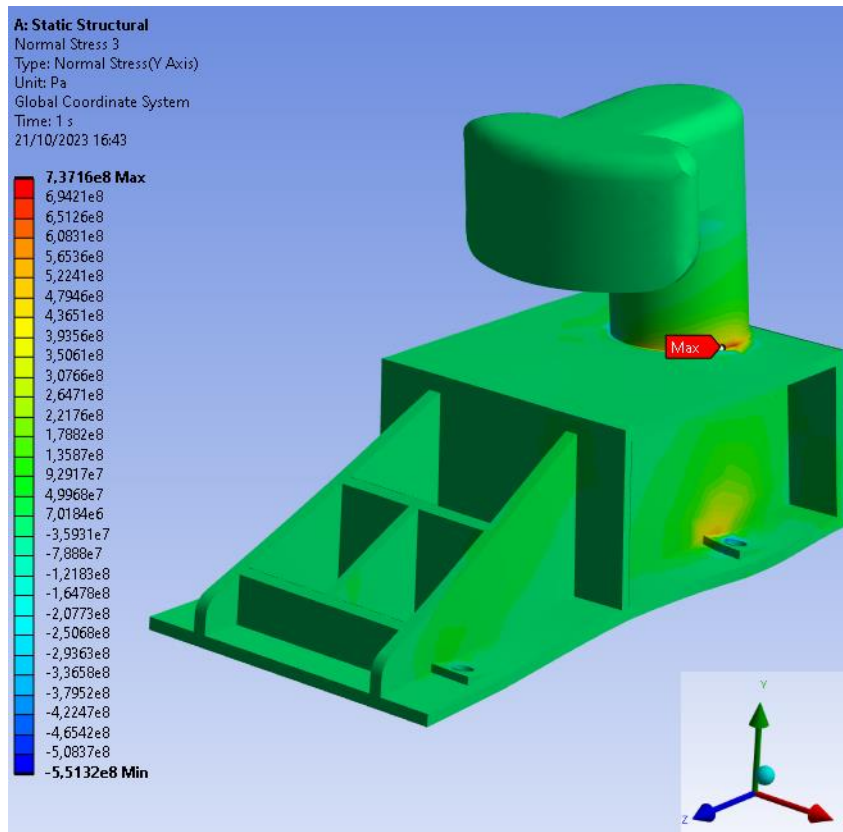


Figura 24 - Tensões principais segundo eixo Y, inerentes ao carregamento critico 1.

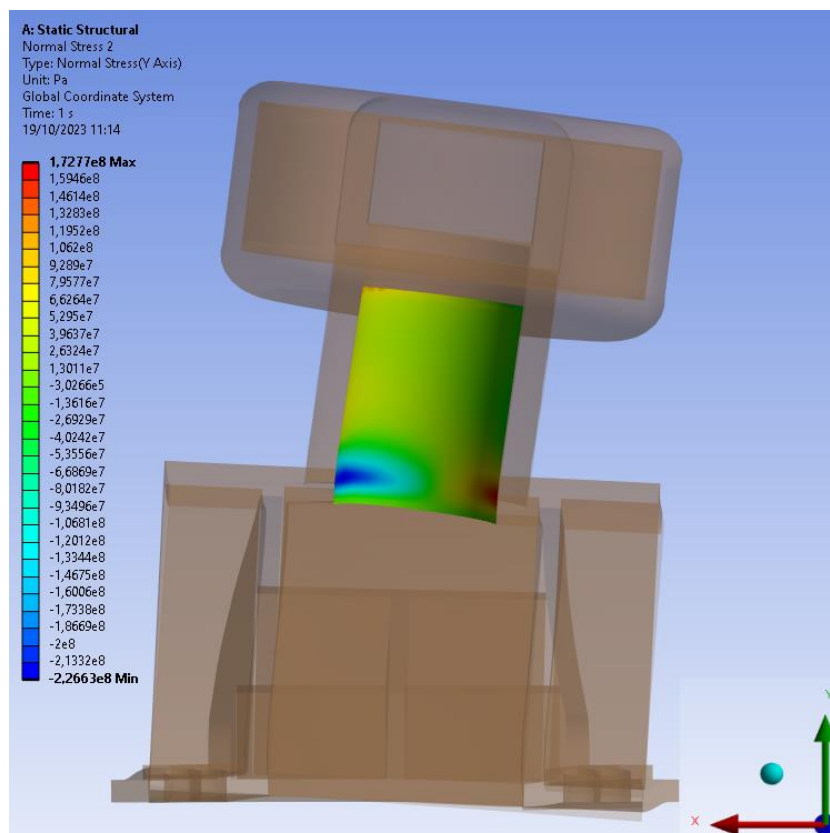


Figura 25 - Tensões principais segundo eixo Y, no interior do tronco do cabeço de amarração, inerentes ao carregamento critico 1.

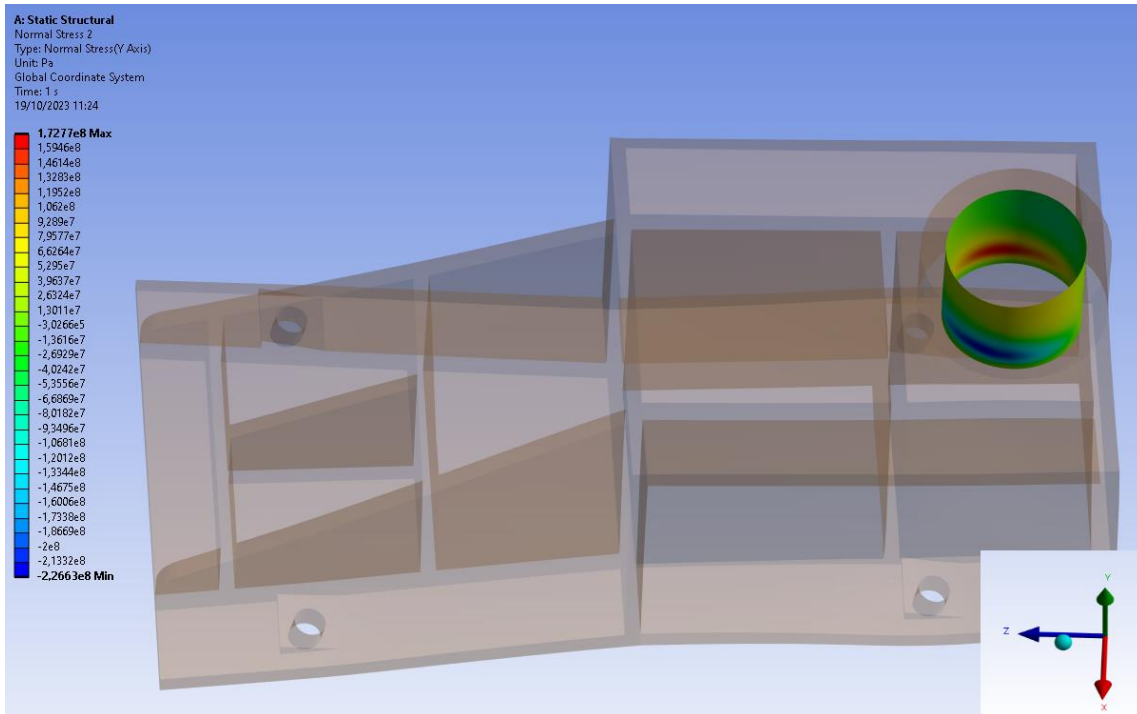


Figura 26 - Tensões principais segundo eixo Y, no interior do tronco do cabeço de amarração, inerentes ao carregamento crítico 1.

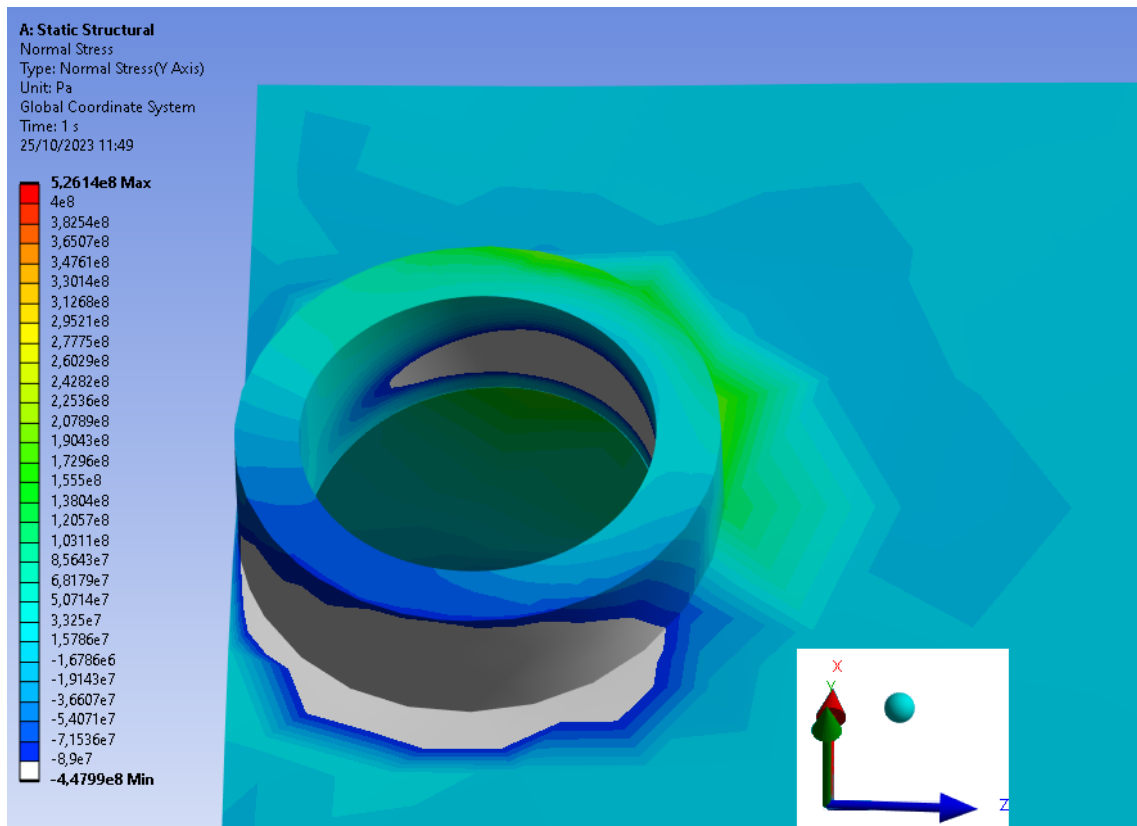


Figura 27 - Tensões principais segundo o eixo Y, situadas num corte transversal do tronco do cabeço de amarração, zona de posicionamento dos extensómetros. Resultados inerentes ao carregamento crítico 1.

Desta forma, estão reunidas as condições necessárias para a utilização da ferramenta de convergência automática.

Em suma, o funcionamento desta ferramenta, para o refinamento da malha padrão, consiste no aumento do número de nós e elementos que a constituem, de forma gradual. Isto é inicialmente, com uma malha de configuração básica, o programa de cálculo entrega determinados resultados, aquando do refinamento da malha estes alteram-se, até ser atingida uma fase em que a diferença de resultados seja inferior ao erro considerado aceitável. O procedimento de convergência de malha utilizado neste estudo é descrito nos parágrafos seguintes, servindo também como uma explicação pormenorizada de como funciona esta ferramenta, e de justificação das decisões adotadas.

Considerando as limitações inerentes à versão gratuita deste programa de cálculo, relacionadas com a pormenorização da malha, número de nós e elementos que a constituem, o refinamento da malha atinge facilmente o limite referido anteriormente, impossibilitando ambicionar erros percentuais extremamente baixos.

É solicitado ao programa um estudo relativo a tensões na globalidade da estrutura, sendo a convergência associada a este mesmo estudo.

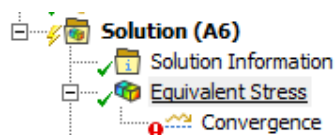


Figura 28 - Convergência automática.

O processo de convergência é executado por meio de várias iterações, das quais resultam diferentes tensões. Conforme o processo de iteração se desenvolve, a malha torna-se mais complexa e capaz de entregar valores de maior fiabilidade. Atingindo uma diferença inferior a 10% entre dois valores consecutivos de tensão, considera-se alcançado o final da convergência automática.

Convergence History

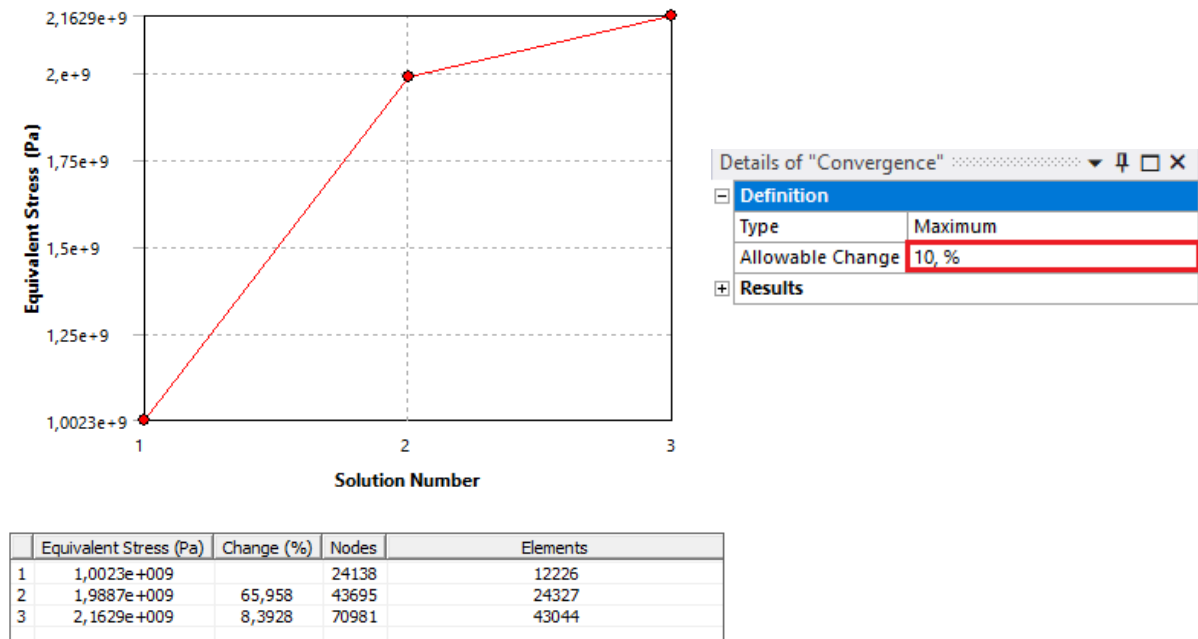


Figura 29 – Ferramenta de convergência automática.

Os resultados obtidos após finalizada a convergência automática da malha estão representados na figura 29. Através da sua análise é notável a evolução da malha, sendo a mesma constituída por 24138 nós e 12226 elementos, evoluindo para 70981 nós e 43044 elementos após refinamento. Apesar de atingida a diferença percentual admitida, percebemos que apenas foram realizadas duas iterações, porém os valores relativos aos parâmetros da malha estão próximos do limite estabelecido pelo programa de cálculo, impossibilitando a continuação do processo de novas iterações.

A tensão máxima obtida após o processo de refinamento é sensivelmente o dobro da tensão inicial, trata-se de uma grande disparidade de resultados, o que revela a importância do refinamento de uma malha capaz de captar com detalhe os pormenores da estrutura em questão.

Este procedimento foi realizado para ambos os carregamentos críticos. Na tabela 9, regista-se o comparativo entre os resultados adquiridos antes e depois da utilização da ferramenta de convergência automática.

Tabela 9 – Resultados obtidos pré e pós refinamento da malha.

Carregamento Critico 1	Unidades	Resultados Obtidos		Diferença Percentual
		Pré-Refinamento	Pós-Refinamento	
Tensão Máxima	MPa	1002	2163	115,80%
Extensão - Ponto 1 - X Axis	mm/m	-0,1165	-0,1125	-3,48%
Extensão - Ponto 1 - Y Axis	mm/m	0,2850	0,2724	-4,41%
Extensão - Ponto 1 - Z Axis	mm/m	-0,0132	-0,0045	-65,78%
Extensão - Ponto 2 - X Axis	mm/m	-0,0639	-0,0652	1,90%
Extensão - Ponto 2 - Y Axis	mm/m	0,1417	0,1441	1,65%
Extensão - Ponto 2 - Z Axis	mm/m	-0,0508	-0,0601	18,25%
Extensão - Ponto 3 - X Axis	mm/m	-0,0048	-0,0148	209,66%
Extensão - Ponto 3 - Y Axis	mm/m	0,0759	0,0865	13,94%
Extensão - Ponto 3 - Z Axis	mm/m	-0,0289	-0,0310	6,96%
Extensão - Ponto 4 - X Axis	mm/m	0,0475	0,0540	13,75%
Extensão - Ponto 4 - Y Axis	mm/m	-0,0219	-0,0348	58,53%
Extensão - Ponto 4 - Z Axis	mm/m	0,0461	0,0563	22,15%
Extensão - Ponto 5 - X Axis	mm/m	0,0626	0,0636	1,56%
Extensão - Ponto 5 - Y Axis	mm/m	-0,1930	-0,1885	-2,32%
Extensão - Ponto 5 - Z Axis	mm/m	0,0497	0,0410	-17,50%
Extensão - Ponto 6 - X Axis	mm/m	0,0038	0,0091	141,52%
Extensão - Ponto 6 - Y Axis	mm/m	-0,2009	-0,2023	0,68%
Extensão - Ponto 6 - Z Axis	mm/m	0,0024	-0,0043	-277,62%
Extensão - Ponto 7 - X Axis	mm/m	-0,0186	-0,0167	-10,32%
Extensão - Ponto 7 - Y Axis	mm/m	-0,0235	-0,0243	3,22%
Extensão - Ponto 7 - Z Axis	mm/m	0,0163	0,0173	6,15%
Extensão - Ponto 8 - X Axis	mm/m	0,0112	0,0019	-83,19%
Extensão - Ponto 8 - Y Axis	mm/m	0,1829	0,1919	4,92%
Extensão - Ponto 8 - Z Axis	mm/m	0,0168	0,0135	-19,50%
Carregamento Critico 2				
Tensão Máxima	MPa	864	2065	139,04%
Extensão - Ponto 1 - X Axis	mm/m	0,0650	0,0642	-1,25%
Extensão - Ponto 1 - Y Axis	mm/m	-0,1974	-0,1836	-6,99%
Extensão - Ponto 1 - Z Axis	mm/m	0,0506	0,0381	-24,73%
Extensão - Ponto 2 - X Axis	mm/m	0,0484	0,0545	12,51%
Extensão - Ponto 2 - Y Axis	mm/m	-0,0288	-0,0312	8,30%
Extensão - Ponto 2 - Z Axis	mm/m	0,0461	0,0531	15,39%
Extensão - Ponto 3 - X Axis	mm/m	-0,0219	-0,0280	27,64%
Extensão - Ponto 3 - Y Axis	mm/m	0,0787	0,0845	7,37%
Extensão - Ponto 3 - Z Axis	mm/m	-0,0241	-0,0237	-1,69%
Extensão - Ponto 4 - X Axis	mm/m	-0,0599	-0,0668	11,49%
Extensão - Ponto 4 - Y Axis	mm/m	0,1344	0,1442	7,23%
Extensão - Ponto 4 - Z Axis	mm/m	-0,0536	-0,0593	10,60%
Extensão - Ponto 5 - X Axis	mm/m	-0,1166	-0,1162	-0,39%
Extensão - Ponto 5 - Y Axis	mm/m	0,2791	0,2733	-2,07%
Extensão - Ponto 5 - Z Axis	mm/m	-0,0075	0,0012	-115,68%
Extensão - Ponto 6 - X Axis	mm/m	-0,0046	-0,0050	7,30%

Extensão - Ponto 6 - Y Axis	mm/m	0,1935	0,1962	1,44%
Extensão - Ponto 6 - Z Axis	mm/m	0,0182	0,0165	-9,46%
Extensão - Ponto 7 - X Axis	mm/m	-0,0098	-0,0081	-16,46%
Extensão - Ponto 7 - Y Axis	mm/m	-0,0204	-0,0220	7,96%
Extensão - Ponto 7 - Z Axis	mm/m	0,0119	0,0121	1,00%
Extensão - Ponto 8 - X Axis	mm/m	-0,0114	-0,0071	-38,25%
Extensão - Ponto 8 - Y Axis	mm/m	-0,1887	-0,1990	5,44%
Extensão - Ponto 8 - Z Axis	mm/m	0,0018	0,0090	413,83%

3.3. Modelação analítica

No contexto deste projeto, a utilização dos extensómetros tem como intenção possibilitar a previsão futura de uma eventual rotura dos cabeços de amarração com base nos dados fornecidos por estes sensores, nomeadamente extensões locais nas zonas que apresentam tensões mais elevadas. Para além disso, é importante também possibilitar a estimativa da carga que é transmitida ao cabeço de amarração em tempo real, que por sua vez é transmitida à infraestrutura.

A rotura dos cabeços de amarração ocorre quando a carga máxima suportada, expressa em toneladas, para a qual estas estruturas são dimensionadas, é atingida. Desta forma, o desenvolvimento de um processo analítico de cálculo visa criar um termo comparativo entre a informação proveniente dos sensores, e os dados de dimensionamento destas estruturas.

A relação fundamental entre tensão e extensão, estabelecida pela Lei de Hooke, desempenha um papel central no processo de desenvolvimento do sistema de cálculo mencionado. Os extensómetros fornecem extensões em tempo real que, ao serem relacionadas com as características materiais e geométricas do cabeço de amarração, permitem obter tensões. Estas, por sua vez possibilitam a determinação da força exercida no cabeço de amarração. A comparação entre a força obtida e os dados de dimensionamento do cabeço de amarração, nomeadamente a capacidade de carga máxima, permite averiguar uma eventual rotura desta estrutura.

Em suma, este sistema de cálculo, juntamente com os dados obtidos por parte dos extensómetros, permitem ao sistema de monitorização inteligente prever uma eventual rotura dos cabeços de amarração e analisar a necessidade de manutenção dos mesmos, garantindo assim a segurança e a integridade destas estruturas. Quando utilizados em rede, podem também permitir uma avaliação em contínuo da solicitação transmitida à infraestrutura, neste caso o cais. De seguida, é descrito o processo de desenvolvimento do sistema de cálculo.

3.3.1. Processo analítico para estimação da carga aplicada

A zona principal em análise é o tronco do cabeço de amarração, uma vez que as tensões de maior magnitude se encontram nesta área da estrutura, assim como o ponto de aplicação da força e os extensómetros utilizados. Deste modo, no desenvolvimento desta metodologia de cálculo adotou-se um sistema simplificado em consola, de forma a representar o tronco do cabeço de amarração. Esta simplificação é demonstrada pela figura 30.

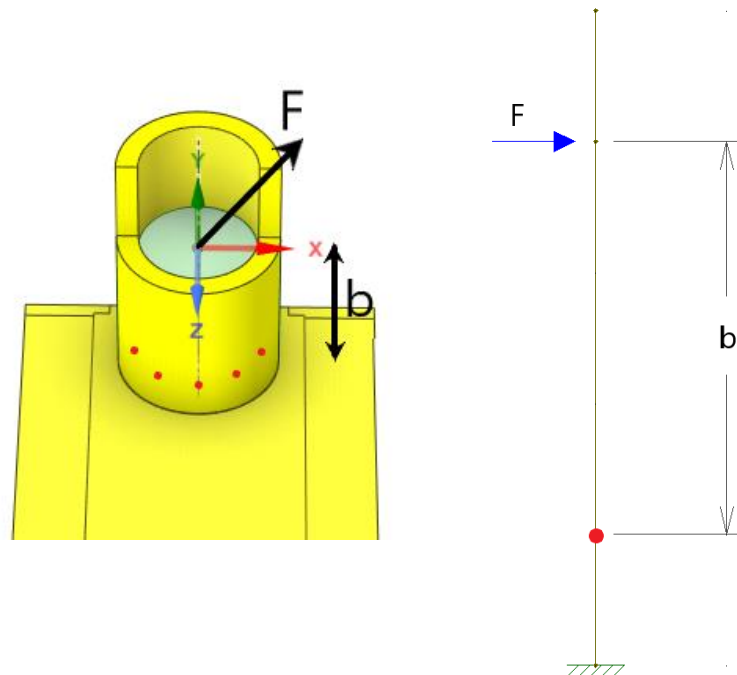


Figura 30 - Sistema em consola representativo do tronco do cabeço de amarração.

Assumindo simplificadamente que a espessura da parede do tronco é delgada, a expressão seguinte permite a determinação da força exercida no cabeço de amarração, para o sistema estrutural adotado.

$$E * \varepsilon = \pm \frac{N}{A} \pm \frac{Mx}{Ix} * z \pm \frac{Mz}{Iz} * x \quad (1)$$

Os extensómetros instalados, representados a vermelho na figura 30, são responsáveis pela obtenção das extensões (ε). Parâmetros como a área (A) e inércias (I_x e I_z) são unicamente dependentes da secção transversal do tronco do cabeço de amarração e o módulo de elasticidade (E) é um dado adquirido pelo conhecimento do material constituinte desta estrutura.

A orientação e inclinação da força exercida no cabeço de amarração determina a existência de esforços axiais (N) e momentos fletores segundo os diferentes eixos coordenados (Mx e Mz). Desta forma, o cálculo depende assim de três variáveis distintas, a força, a sua orientação e inclinação.

De seguida são determinadas algumas das variáveis mencionadas anteriormente.

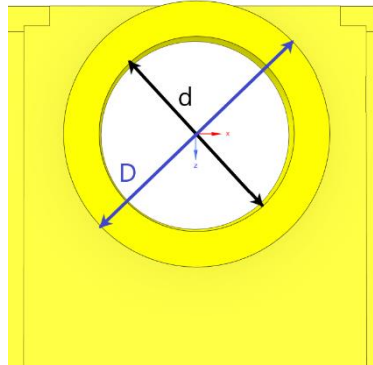


Figura 31 - Vista em corte do cabeço de amarração.

$$D = 0,30 \text{ m}; d = 0,22 \text{ m}$$

$$A = \pi * \left(\frac{D}{2}\right)^2 - \pi * \left(\frac{d}{2}\right)^2 = 0,03267 \text{ m}^2$$

$$I_x = I_z = \pi * \frac{(D^4 - d^4)}{64} = 2,826 * 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$E = 200 \text{ GPa}$$

Nesta fase, torna-se obrigatório a definição de um sistema de eixos coordenados. Considerando esforços de tração positivos e compressão negativos. Da análise do sistema de eixos coordenados adotado surgem as equações seguintes:

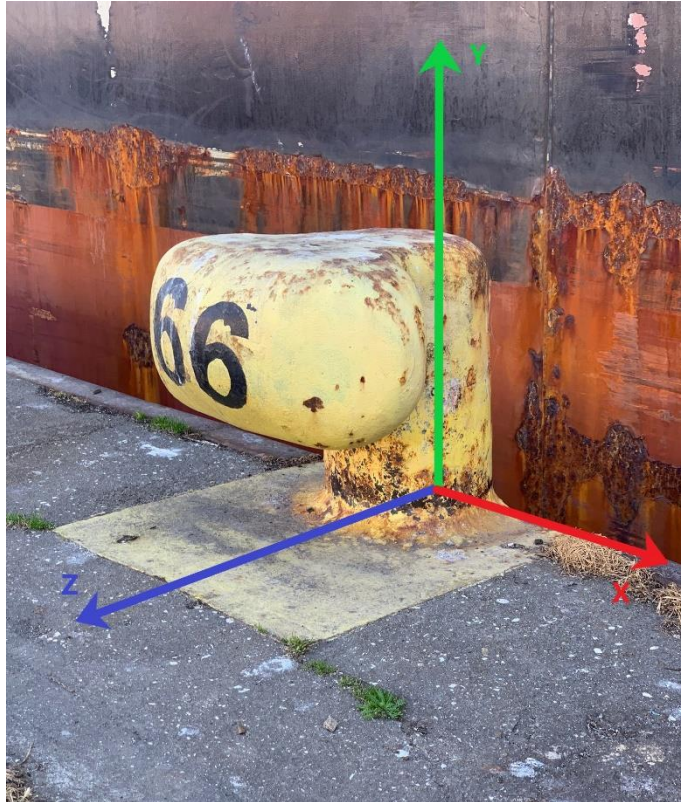


Figura 32 - Orientação do sistema de eixos coordenados adotado, em relação a um cabeço de amarração existente do Porto de Leixões.

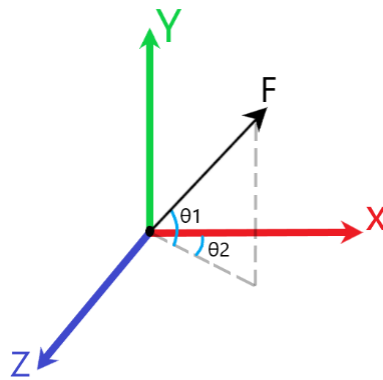


Figura 33 - Sistema de eixos coordenados adotado.

$$N = F * \text{sen} (\theta 1) \quad (2)$$

$$F_x = F * \text{cos} (\theta 1) * \text{cos} (\theta 2) \quad (3)$$

$$F_z = F * \text{cos} (\theta 1) * \text{sen} (\theta 2) \quad (4)$$

$$M_x = F_z * b \quad (5)$$

$$M_z = F_x * b \quad (6)$$

Onde, θ_1 representa a inclinação da força aplicada no cabeço de amarração, podendo variar entre 0° e 60° , e θ_2 a sua orientação, a variar entre 0° e 180° . A distância em Y entre o ponto de aplicação da força e o local de colocação dos sensores, é representada pela variável “b”, e demonstrada na figura 30.

A decomposição da força (F) possibilita a seguinte simplificação da equação (1).

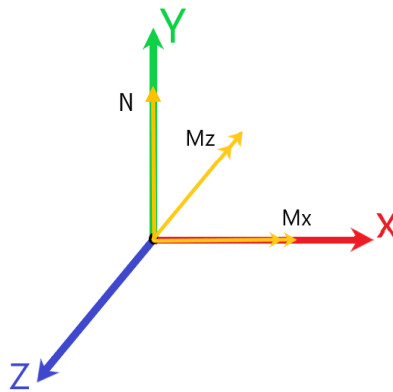


Figura 34 - Decomposição da força nos diferentes eixos coordenados.

$$E * \varepsilon = \frac{F * \text{sen}(\theta_1)}{A} - \frac{F * \text{cos}(\theta_1) * \text{sen}(\theta_2) * b}{I_x} * Z - \frac{F * \text{cos}(\theta_1) * \text{cos}(\theta_2) * b}{I_z} * X \quad (7)$$

A determinação das três variáveis mencionadas anteriormente, requer o desenvolvimento de um sistema no qual a equação anterior seja aplicada em simultâneo aos diversos extensómetros. Desta forma, e considerando apenas as tensões normais à secção transversal do tronco do cabeço de amarração (σ_y), surge o seguinte sistema, onde “n” representa o número do extensómetro, a variar de 1 a 8.

$$\left\{ \begin{array}{l} 0 = \frac{F * \text{sen}(\theta_1)}{A} - \frac{F * \text{cos}(\theta_1) * \text{sen}(\theta_2) * b}{I_x} * Z_1 - \frac{F * \text{cos}(\theta_1) * \text{cos}(\theta_2) * b}{I_z} * X_1 - E * \varepsilon_{y1} \\ \dots \\ \dots \\ 0 = \frac{F * \text{sen}(\theta_1)}{A} - \frac{F * \text{cos}(\theta_1) * \text{sen}(\theta_2) * b}{I_x} * Z_n - \frac{F * \text{cos}(\theta_1) * \text{cos}(\theta_2) * b}{I_z} * X_n - E * \varepsilon_{yn} \end{array} \right. \quad (8)$$

As variáveis “z” e “x”, dizem respeito aos pontos coordenados representativos dos extensómetros, de acordo com o sistema de eixos coordenados adotado anteriormente. Não é necessária a utilização de todos os pontos para a obtenção das incógnitas, os pontos em excesso serão utilizados para verificar os resultados. No sistema real, esses pontos serão utilizados para reduzir a incerteza do cálculo.

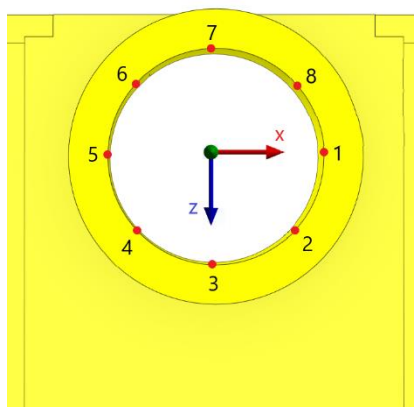


Figura 35 - Extensómetros.

Tabela 10 - Pontos coordenados dos extensómetros, segundo sistema de eixos coordenados adotado.

Pontos Coordenados		
Extensómetro	X (m)	Z (m)
1	0,11	0
2	0,0778	0,0778
3	0	0,11
4	-0,0778	0,0778
5	-0,11	0
6	-0,0778	-0,0778
7	0	-0,11
8	0,0778	-0,0778

A verificação do correto funcionamento desta metodologia de cálculo é descrita nos parágrafos seguintes.

Considerando uma força de 200 kN, com uma inclinação de 30° e uma orientação de -45°, e cujo ponto de aplicação é definido pelas coordenadas (0; 685; 158) mm, numa primeira fase esta mesma solicitação é aplicada no modelo numérico, por forma a determinar as extensões nos vários pontos correspondentes aos locais de colocação dos extensómetros. Com este procedimento pretende-se simular uma solicitação real num cabeço de amarração. De salientar que, uma vez que o cálculo é realizado considerando apenas tensões normais à secção transversal, interessa apenas determinar extensões normais a esse mesmo plano. Na tabela 11, são registados os valores obtidos.

Tabela 11 - Extensões obtidas a partir do modelo numérico.

Extensões (ε_y) (m/m)	
1	-2,53E-05
2	1,60E-05
3	6,06E-05
4	5,42E-05
5	6,16E-05
6	2,42E-05
7	-2,50E-05
8	-4,11E-05

Os restantes dados necessários à aplicação do sistema desenvolvido são descritos na tabela 10 e 12.

Tabela 12 – Dados necessários à aplicação do modelo analítico.

E (MPa)	A (m ²)	I _x (m ⁴)	I _z (m ⁴)	b (m)
2,00E+05	3,27E-02	2,83E-04	2,83E-04	0,17709

Com estes dados pode agora tentar-se determinar a magnitude da força, assim como a sua inclinação e orientação, com recurso ao modelo analítico. Os resultados deverão ser idênticos aos introduzidos no modelo numérico, comprovando desta forma o correto funcionamento do sistema de cálculo.

É importante realçar que neste caso é necessário atribuir os parâmetros iniciais da força de modo a obter os valores das extensões através do modelo numérico, para que o modelo matemático de convergência (solver) alcance a solução. Recorrendo à ferramenta “Solver” do programa “Excel”, foi possível determinar quais os parâmetros da força capazes de anular o resultado das diversas expressões do sistema (8).

Os resultados obtidos são registados na tabela seguinte.

Tabela 13 - Resultados obtidos.

F (kN)	θ_1 (°)	θ_2 (°)
199,9	32	-45

Os resultados obtidos, quando comparados aos parâmetros da força definidos inicialmente ($F = 200 \text{ kN}$; $\theta_1 = 30^\circ$; $\theta_2 = -45^\circ$), comprovam a capacidade do sistema em determinar a força exercida no cabeço de amarração.

3.3.2. Análise dos resultados e comparação com o modelo numérico

A análise do comportamento estrutural do cabeço de amarração, a partir do modelo numérico fornecido, tinha como um dos objetivos auxiliar no desenvolvimento do sistema de cálculo apresentado na secção 3.3.1. Comprovou-se possível determinar a magnitude da força exercida nestas estruturas, bem como a sua inclinação e orientação, a partir das extensões obtidas por parte do sistema de monitorização e recorrendo aos dados materiais e geométricos desta estrutura.

Desta forma, obtemos um termo comparativo entre a informação fornecida pelo sistema de monitorização, e os dados de dimensionamento destas estruturas, possibilitando prever uma eventual rotura das mesmas.

De notar que, os resultados obtidos por parte do sistema de cálculo, numa fase inicial não se demonstraram tão satisfatórios quanto expectável. As extensões obtidas por parte do modelo numérico variam de acordo com a malha estruturada aquando da análise numérica, na ausência de um refinamento adequado da mesma, que permita a esta ser capaz de representar devidamente a estrutura, os valores de extensão obtidos no modelo numérico podem induzir em erro os resultados provenientes do sistema de cálculo.

A diferença da malha antes e após refinamento é demonstrada na figura 36 (Esquerda) e figura 36 (Direita), respetivamente, através de um mapa de distribuição de extensões.

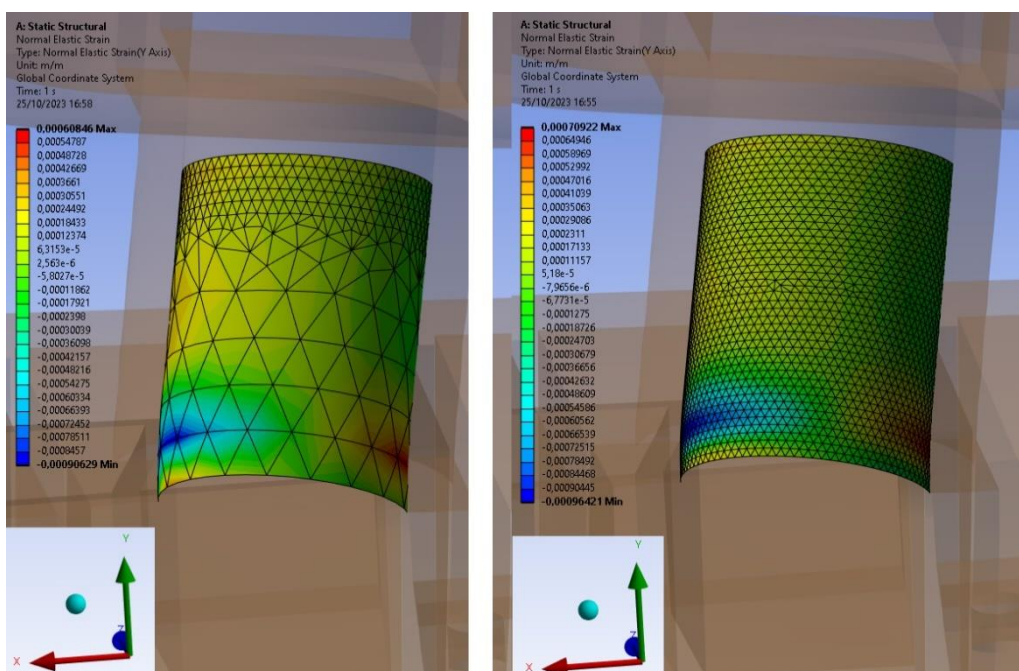


Figura 36 - Mapa de distribuição de extensões antes do (Esquerda) e após (Direita) refinamento da malha.

Da análise da figura 36 é perceptível que a malha após refinamento, permite ao modelo numérico desenvolver um cálculo minucioso das extensões na zona representada, dando assim origem a um mapa com uma distribuição de extensões mais uniforme, providenciando assim a obtenção de melhores resultados.

A análise do modelo numérico, e a determinação do pior cenário de carga (caso de carga 1), permitiu ainda identificar as áreas da estrutura que apresentam tensões mais elevadas, e desta forma validar as decisões adotadas ao longo do desenvolvimento desta dissertação, relativas à escolha do interior do tronco do cabeço de amarração como o local para a colocação dos extensómetros. Além disso, a determinação do valor máximo de extensão atuante no cabeço de amarração (0,00028496 m/m), auxilia na escolha da tipologia de extensómetro a adotar no sistema de monitorização, através de dois critérios, capacidade de alongamento máximo do extensómetro e resolução de funcionamento do sistema de aquisição, fase à ordem de grandeza dos resultados que se pretende obter.

3.4. Sensorização do cabeço de amarração.

3.4.1. Contribuição para o projeto GIIP

O projeto GIIP – Gestão Inteligente de Infraestruturas Portuárias, tinha como objetivo o desenvolvimento integrado de ferramentas e de sistemas para a monitorização e gestão inteligente da operação de portos, que são infraestruturas sujeitas a elevados níveis de solicitação. O desenvolvimento e implementação de um sistema de monitorização inteligente nos cabeços de amarração tem como objetivo principal antecipar e evitar possíveis roturas destas mesmas estruturas, assim como a monitorização geral da operação do porto e das cargas transmitidas à infraestrutura.

O sistema de monitorização mencionado funciona com recurso a sensores, nomeadamente extensómetros, cuja função primordial é determinar extensões locais em zonas específicas do cabeço de amarração, em particular nas áreas onde se encontram os valores de tensão máximos, e a partir desses valores obter o nível de solicitação.

Este sistema tem a capacidade para fornecer dados em tempo real, no que diz respeito às deformações e tensões exercidas nestas estruturas, possibilitando a monitorização das mesmas tanto por parte dos engenheiros como dos operários da infraestrutura portuária. Com base nestes dados, existe uma maior facilidade em prever potenciais problemas e desta forma evitar interrupções nas operações portuárias e garantir a segurança tanto das embarcações como da carga e pessoas envolvidas.

Os dados fornecidos por estes sensores podem ainda contribuir na determinação da carga transportada por cada embarcação, percebendo desta forma se os limites são respeitados por parte das empresas concessionárias do Porto de Leixões. Além disso, torna-se possível avaliar se o cabeço de amarração selecionado para o processo de amarração é adequado para o suporte de tais cargas, e se devido à descarga do navio, o cais não ficará comprometido devido ao peso excessivo para o qual este não foi previamente dimensionado.

Em suma, a utilização deste sistema de monitorização, visa contribuir na previsão de eventuais falhas, contribuir na segurança das operações portuárias e ainda garantir um estado de saúde estável por parte dos cabeços de amarração.

Este sistema pode vir a desempenhar um papel vital na preservação da integridade das estruturas portuárias e na eficiência das operações do Porto de Leixões, assim como de outros portos ao redor do mundo.

3.5. Extensómetros

O extensómetro pode ser utilizado em diferentes tipos de aplicações. Quando colocado num determinado corpo, sujeito a uma carga, este é capaz de medir deformações (variações de comprimento), através da variação na sua resistência (Andolfato et al., 2004). Este sensor é baseado num material condutor ou semicondutor, cujas características se alteram com a deformação do corpo em estudo aquando do carregamento do mesmo, dando assim origem às variações de resistência referidas anteriormente (Coelho, 2004). A monitorização de estruturas e respetivas deformações do seu corpo em condições de serviço, é possível com recurso à utilização deste tipo de sensores, assim como avaliar o crescente aumento de extensões na estrutura e desta forma perceber a ocorrência de uma eventual rotura da mesma (Andolfato et al., 2004).

As particularidades destes sensores, assim como as características dos resultados obtidos por estes são sintetizadas nos pontos seguintes (Andolfato et al., 2004):

- medições de elevada precisão;
- fácil utilização;
- excelente resistência a uma ampla gama de temperaturas;
- facilidade de conversão do seu sinal analógico de saída para digital, de forma a possibilitar a quantificação de variáveis físicas como força, pressão, aceleração, entre outros.

Atualmente, existe uma vasta variedade de extensômetros, com diferentes características. Tendo em consideração as atividades e o tipo de ambiente que define uma infraestrutura portuária, é de enorme relevância a escolha mais adequada do tipo de extensômetro a utilizar.



Figura 37 - Extensômetro (TDG, 2023).

3.5.1. Princípio de funcionamento

Numa fase inicial, na inexistência de qualquer carregamento capaz de deformar a estrutura, o extensômetro apresenta uma resistência inicial “R”, podendo esta ser obtida através da expressão (9), onde “ ρ ” representa a resistividade do fio de metal, sendo esta uma constante, “l” o comprimento original do mesmo e “A” a área da sua secção transversal. A deformação da estrutura após carregamento, origina no extensômetro uma variação de resistência “ ΔR ”, nas suas componentes metálicas, originando principalmente um alongamento das mesmas. Assim, e através da expressão (10), onde “k” representa a sensibilidade à deformação do material metálico constituinte do sensor, e “ ε ” a deformação sofrida pelo extensômetro, é possível determinar a variação de resistência, iniciando assim o processo de determinação da magnitude do carregamento que a origina (Andolfato et al., 2004).

$$R = \rho * \frac{l}{A} \quad (9)$$

$$\frac{\Delta R}{R} = K * \varepsilon \quad (10)$$

3.5.2. Circuito de medição – Ponte de Wheatstone

A ponte de Wheatstone é um circuito elétrico qualificado para medir variações de resistência com alta precisão. Esta variação de resistência é convertida, por este mesmo circuito, numa voltagem elétrica (Volts) (Andolfato et al., 2004). Desta forma pode selecionar-se o extensômetro mais adequado através da voltagem de saída da ponte e respetiva conversão para sinal digital, podendo determinar-se a deformação responsável por originar a diferença de resistência no extensômetro.

A voltagem de saída da ponte de Wheatstone pode ser calculada com recurso à expressão 11, onde “e” representa a voltagem de saída, “E” a voltagem de entrada aplicada no circuito, tendo sido já anteriormente definidas as restantes variáveis.

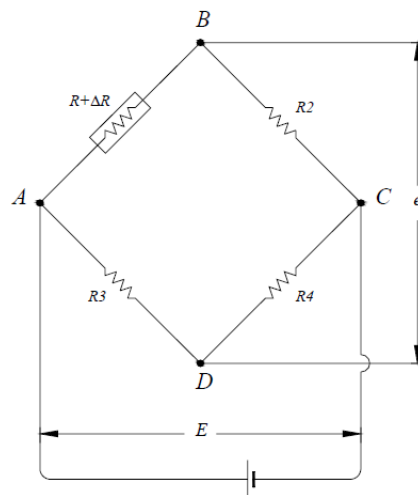


Figura 38 - Ponte de Wheatstone (Andolfato et al., 2004).

$$e \cong \pm \frac{E}{4} * K * \varepsilon \quad (11)$$

Uma vez que tanto a voltagem de entrada como a sensibilidade do extensômetro são constantes, conclui-se que existe uma relação de proporcionalidade entre a deformação e a voltagem de saída (Andolfato et al., 2004).

Tabela 14 - Fator de sensibilidade "K" para extensômetros elétricos, consoante material e composição utilizados na sua conceção. Tabela adaptada de Dally et al., 1993.

Material	Composição (%)	K
Constantan (Advance)	45 Ni, 55 Cu	2,1
Nichrome V	80 Ni, 20 Cr	2,2
Isoelastic	36 Ni, 8 Cr, 0,5 Mo, 55,5 Fe	3,6
Karma	74 Ni, 20 Cr, 3 Al, 3 Fe	2,0
Armour D	70 Fe, 20 Cr, 10 Al	2,0
Liga 479	92 Pt, 8 W	4,1

Consoante o posicionamento e a quantidade de extensômetros utilizados na ponte de Wheatstone, diferentes nomenclaturas são atribuídas a este circuito. Estas diversas disposições existem para contrariar os efeitos que fatores externos, como a temperatura e humidade, têm nos resultados obtidos (Andolfato et al., 2004). Neste projeto, a utilização de vários extensômetros em diferentes zonas do cabeço, acaba por criar uma redundância nos resultados, não existindo necessidade de utilizar disposições compostas por mais do que um extensómetro por circuito eléctrico.

3.5.3. Alternativas existentes

O meio que define uma infraestrutura portuária é uma das maiores preocupações aquando da escolha do tipo de extensómetro a utilizar. A existência de humidade, agentes corrosivos e os trabalhos com movimentos de cargas elevadas, capazes de danificar os sensores, são fatores de extrema importância, uma vez que a fiabilidade dos resultados obtidos não pode ser comprometida.

Assim, a tabela 15, resume algumas das características de vários tipos de extensómetros existentes no mercado.

Tabela 15 - Características das diferentes gamas de extensómetros (Andolfato et al., 2004).

Tipo (Base)	Temperatura de operação (°C)	Alongamento máximo (%)	Corrente Máxima (mA)	Mudança da resistência do extensómetro ao longo do tempo	Principais aplicações
Lâmina (Phester)	-50 a +180	2	30 ou menos	Pequena	Medidas gerais de tensão, medidas de tensão residuais
Lâmina (poliamida)	-50 a +200	2	30 ou menos	Pequena	Medidas gerais de tensão, transdutores, medidas de tensão residuais
Lâmina (poliamida para grandes deformações)	-10 a +120	8 a 10	30 ou menos	Pequena	Medidas de deformações plásticas
Fios (Papel)	-50 a +80	1,2	25 ou menos	Ligeira	Medidas usuais de tensões
Fios (poliéster)	-50 a +170	1	25 ou menos	Pequena	Medidas usuais de tensão em campo

Pela análise da tabela anterior é perceptível que características como o alongamento máximo e a mudança da resistência do extensómetro ao longo do tempo, representam os fatores de escolha de maior importância. Relativamente ao extensómetro constituído por fios resistivos e base de papel, a humidade inerente ao local de colocação exclui a utilização deste sensor, uma vez que a sua durabilidade e bom funcionamento são afetados nestas condições. A ligeira mudança de resistência que estes apresentam, com o passar dos anos, eventualmente induz erros nos resultados obtidos, comprometendo a sua fiabilidade.

O alongamento máximo necessário neste projeto está diretamente relacionado com as extensões obtidas nos extensómetros aquando do carregamento do cabeço de amarração. Posto isto, relativamente a este parâmetro, em capítulos anteriores foi realizado um estudo estrutural do cabeço de amarração, tendo sido obtidos vários valores de extensão. Surge uma extensão máxima de 0,00028496 m/m, resultante da aplicação do carregamento crítico 1, o extensómetro selecionado deve obrigatoriamente apresentar uma capacidade de alongamento superior ao valor de extensão mencionado. De acordo com a informação descrita na tabela 15, concluímos que as diversas tipologias de extensómetros cumprem com este requisito.

Os restantes tipos de extensómetros possuem características bastantes similares. De salientar o extensómetro constituído por fios resistivos e base poliéster, pela sua adaptação a medições em campo.

3.5.4. Local de colocação

De forma a obter resultados representativos do caso real, o local de colocação destes sensores é de enorme relevância. Para além da qualidade dos dados obtidos, a proteção dos sensores é prioritária, uma vez que, existe extrema facilidade de estes se danificarem durante as atividades.

De seguida são listadas algumas possibilidades de locais para a colocação dos sensores:

Tabela 16 - Possibilidades de zonas de colocação dos extensómetros e respetivas vantagens e desvantagens.

	Vantagens	Desvantagens
Zona de fixação entre a estrutura portuária e o cabeço de amarração	Valores representativos	Difícil colocação
	Local protegido	
Interior do cabeço de amarração (Zona do tronco do cabeço de amarração)	Resultados representativos	-
	Facilidade de colocação	
	Local protegido	
Nas defensas	Local protegido	Valores não representativos da realidade

Após análise da tabela anterior, e tendo em consideração a elevada probabilidade da ocorrência de tensões máximas na zona do tronco do cabeço de amarração, o interior desta estrutura é a opção acertada para a colocação dos extensómetros.

3.5.5. Resolução e gama de medição

A decisão da tipologia de extensómetro a implementar no sistema de monitorização é realizada segundo dois critérios principais: capacidade de alongamento máximo do extensómetro e resolução necessária por parte do sistema de aquisição de dados para a obtenção de resultados suficientemente precisos ou com detalhe suficiente para descrever a resposta dos materiais em serviço.

Relativamente ao parâmetro da resolução, deve ter-se em consideração duas componentes distintas do sistema de aquisição de dados, i) o extensómetro e ii) o conversor de sinal analógico em sinal digital. Existe necessidade em converter o sinal analógico, proveniente dos extensómetros, em sinal digital, de forma a possibilitar o seu manuseamento e leitura por parte das restantes componentes digitais do sistema. Assim sendo, torna-se obrigatória a utilização de um conversor de sinal analógico para digital (ADC) (Sarma et al., 2018). A precisão com que o ADC converte o sinal analógico em sinal digital depende da resolução de funcionamento do mesmo, e por sua vez, esta influência diretamente a precisão dos resultados obtidos.

Inerentes aos resultados apresentados por esta conversão de sinal analógico para digital, existem sempre erros associados, devido a fatores externos como ruído e variações de temperatura, obrigando, desta forma, à calibração do sistema de aquisição de dados por meio de ensaios experimentais, com vista na obtenção de resultados de maior fiabilidade (Bin et al., 2005).

A resolução do ADC depende do número de bits com que este funciona. A relação entre resolução e número de bits do conversor é calculada através da equação (12), onde “ ΔV ” representa a diferença entre o valor máximo e mínimo de voltagem que o ADC é capaz de converter.

$$\text{Resolução} = \frac{\Delta V}{2^{n^{\text{bits}}}} \quad (12)$$

Considerando um ADC de 32 bits, cujo ΔV é igual a 5 volts, podemos concluir que a sua resolução de funcionamento é a seguinte:

$$\text{Resolução} = \frac{5}{2^{32}} = 1,16e - 9 V \quad (13)$$

Desta forma, selecionando um extensómetro comercial e tirando partido da expressão 11, é calculado o valor de extensão mínima que o sistema de aquisição de dados é capaz de obter, usufruindo da capacidade do conversor de 32 bits.

Tabela 17 - Especificações de um extensómetro empresa HBM (Hottinger Baldwin Messtechnik).

Modelo	Resistência (Ω)	Voltagem Máx. (V)	Gauge Factor
1-LY11-3/120A	120	4	2

$$\varepsilon = \frac{e * 4}{K * E} = \frac{1,16e - 9 * 4}{2 * 4} = 5,8e - 10 m/m = 5,8e - 7 mm/mm$$

Na figura 39 apresenta-se a resposta experimental tensão - extensão obtida após o ensaio de provetes de ferro fundido testado a diferentes velocidades de deformação. É possível verificar que, o sistema de monitorização inteligente ao apresentar uma resolução de $5,8e-7$ mm/mm, exibe uma enorme capacidade para determinar extensões de diversas ordens de grandeza. Desta forma este sistema, apresenta potencialidades para determinar eventuais roturas do cabeço de amarração, e ainda obter resultados de elevada precisão para solicitações de inferior magnitude, vulgarmente presentes no dia a dia de qualquer uma destas estruturas.

Comparando a capacidade de resolução do sistema de monitorização inteligente com a ordem de grandeza dos resultados que se pretende obter, a seleção de um ADC de 32 bits pode, no entanto, ser um pouco exagerada. Assim sendo, de seguida são efetuados novamente os cálculos demonstrados anteriormente, considerando novamente o extensómetro anteriormente selecionado, a conciliar com um ADC de 24 bits e outro de 16 bits.

Tabela 18 - Cálculo da resolução do sistema de monitorização inteligente selecionando conversores de sinal de 24 bits e 16 bits.

Conversor de sinal (ADC)	Resolução do ADC (V)	Resolução do sistema de monitorização inteligente
24 bits	$\frac{5}{2^{24}} = 2,9e - 7$	$\varepsilon = \frac{2,9e - 7 * 4}{2 * 4} = 1,45e - 4 \text{ mm/mm}$
16 bits	$\frac{5}{2^{16}} = 7,6e - 5$	$\varepsilon = \frac{7,6e - 5 * 4}{2 * 4} = 3,8e - 2 \text{ mm/mm}$

A análise da figura 39 permite verificar que o sistema de monitorização inteligente com recurso a um ADC de 24 bits, apresentando uma resolução de $1,45e-4$ mm/mm, exibe capacidade para obter resultados de elevada precisão para solicitações de reduzida magnitude correspondentes a cargas de serviço, sendo desta forma uma opção economicamente mais viável. Por outro lado, a seleção de um ADC de 16 bits impede o sistema de monitorização inteligente de determinar resultados na ordem de grandeza desejada.

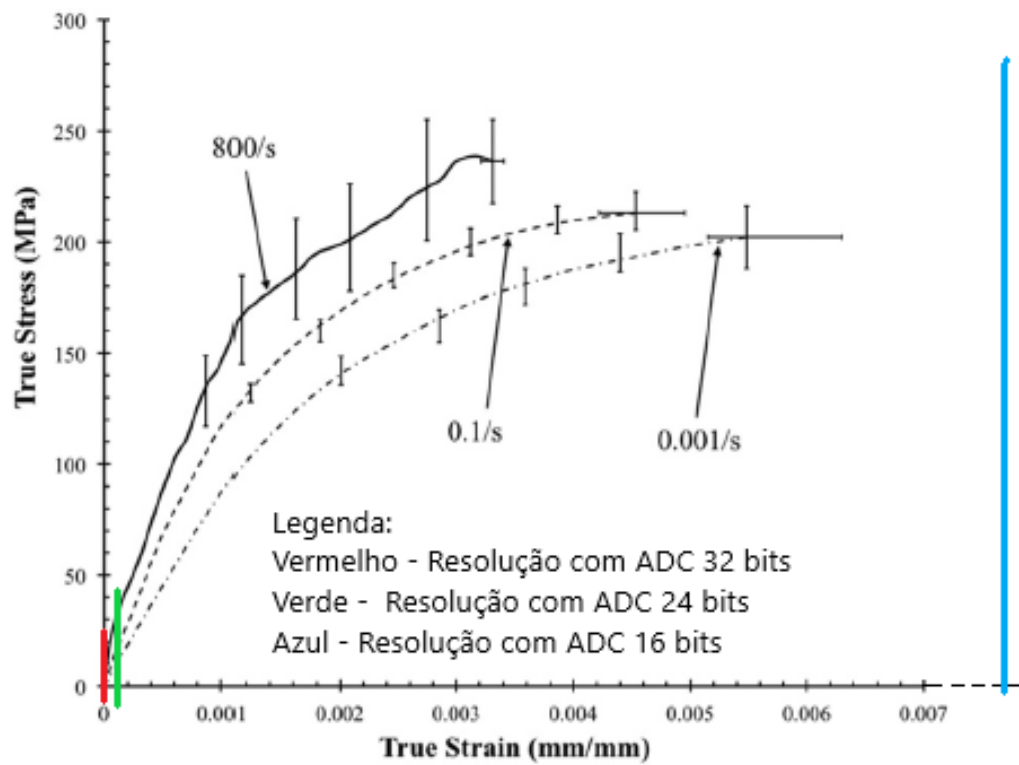


Figura 39 - Representação do comportamento do material ferro fundido quando submetido a um ensaio tensão-extensão (Brauer, 2017).

Capítulo 4 – Análise estrutural da defesa marítima

4.1. A defesa marítima

4.1.1. Defensas Cónicas

Na sua generalidade, esta tipologia de defensas marítimas demonstra a maior capacidade de absorção de energia proveniente da atracação, evitando transferências de esforços excessivos às embarcações. Trata-se de uma defesa de elevado desempenho, apresentando uma excelente relação energia-deformação (Leal et al., 2011). Os módulos de borracha, por meio da sua deformação, são os principais responsáveis pela absorção da energia de acostagem (Santos et al., 2010).

As defensas cónicas apresentam algumas debilidades, tais como: força de reação máxima (aplicada tanto no cais como no navio, por parte da defesa) regularmente atingida durante as manobras de acostagem; necessidade de utilização de painéis frontais de baixo atrito, de modo a reduzir os esforços tangenciais; redução de capacidade de absorção, quando comprimidas obliquamente (Santos et al., 2010).

Em particular, a defesa cónica utilizada na Doca 4 Norte do Porto de Leixões denomina-se SPC 800 G2.7, produto fabricado pela empresa “ShibataFenderTeam”. De acordo com a informação fornecida por esta empresa, este tipo de defesa apresenta as seguintes vantagens: excelente relação entre a absorção de energia e a força de reação; a sua geometria e características de auto-centralização, que resultam numa boa resistência às forças de cisalhamento; resistência a tensões elevadas, assegurando a possibilidade da utilização de painéis frontais mais pesados.



Figura 40 - Defesa SPC 800 G2.7. Registo realizado no dia 27 do fevereiro de 2023, após visita ao local.

4.1.2. Solicitações

O sistema de defensas, situado entre o casco do navio e a estrutura do cais, é responsável por diferentes funções. No momento da acostagem dos navios, este sistema deve ter capacidade para absorver a energia de impacto exercida num primeiro contacto entre a embarcação e a defesa. Concluída a amarração do navio, em conjunto com os restantes elementos de amarração, deve absorver as cargas originadas por forças externas (vento, correntes, entre outras), capazes de causar movimentações excessivas nos navios, provocando por vezes impactos de elevada magnitude com a defesa (Sohoni et al., 2016).

Durante o dimensionamento, e seleção de um determinado sistema de defensas, para além da relevância inerente às situações mencionadas acima, é importante ter em consideração a tipologia de navio, mais precisamente a geometria e singularidades associadas ao seu casco. Este fator influencia a área de contacto do navio com o painel frontal do sistema de defensas (Santos et al., 2010).

Este contacto por vezes provoca compressões oblíquas, originando uma repartição de esforços assimétrica e um aumento de tensões concentradas em determinadas componentes da defesa. Nesta

situação existe uma redução da capacidade de absorção de energia, proporcional ao ângulo de compressão e ao tipo de defesa instalada (Santos et al., 2010).

4.1.3. Componentes de um sistema de defensas

Os principais elementos de um sistema de defensas são: i) o painel frontal, ii) os módulos de borracha, iii) as correntes e iv) o bloco metálico responsável pela fixação desta estrutura à estrutura portuária.

- Painel Frontal

O painel frontal é a estrutura responsável pelo contacto entre o navio e a defesa, na qual este se insere. Com intuito de prevenir possíveis danos decorrentes deste contacto, esta estrutura proporciona uma distribuição de pressões uniforme no casco do navio. O aço estrutural representa o material constituinte desta estrutura.

- Módulos de borracha

Os módulos de borracha são os principais responsáveis pela absorção da energia proveniente dos vários impactos entre o navio e o painel frontal. A relação “deformação-reação”, representada pela curva de desempenho dos diversos sistemas de defensas, é obtida de acordo com o comportamento de resposta dos módulos de borracha a determinadas solicitações.

Segundo Thoresen (2003), os sistemas de defensas podem ser categorizados de acordo com a sua curva de desempenho: (1) defensas rígidas, (2) defensas intermédias e (3) defensas flexíveis. As suas curvas de desempenho apresentam-se na figura 41. Pela análise da figura 42 é possível entender que estas defensas apresentam a mesma força de reação de projeto, uma igual capacidade de absorção de energia demonstrada pelas áreas representadas, porém diferentes deformações máximas (Thoresen, 2003).

As defensas rígidas (1), apresentam um aumento acentuado da sua força de reação em relação à deformação sofrida. Desta forma, na absorção da mesma energia de acostagem, esta tipologia de defensas apresenta deformações substancialmente inferiores, quando comparada com as restantes. Devido a esta particularidade esta tipologia de defesa, mesmo quando solicitada por navios de dimensões inferiores, atinge com facilidade a força de reação máxima para a qual foi dimensionada (Thoresen, 2003).

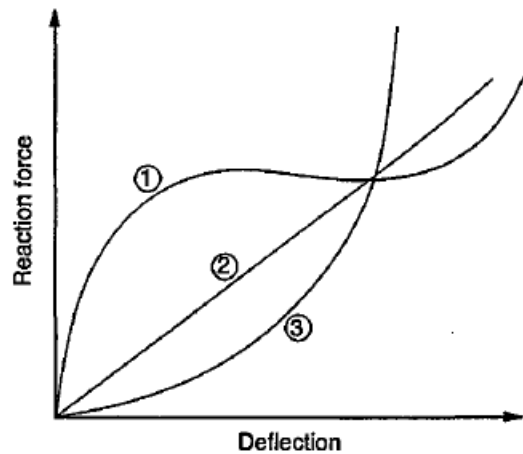


Figura 41 - Curvas de desempenho (Thoresen, 2003).

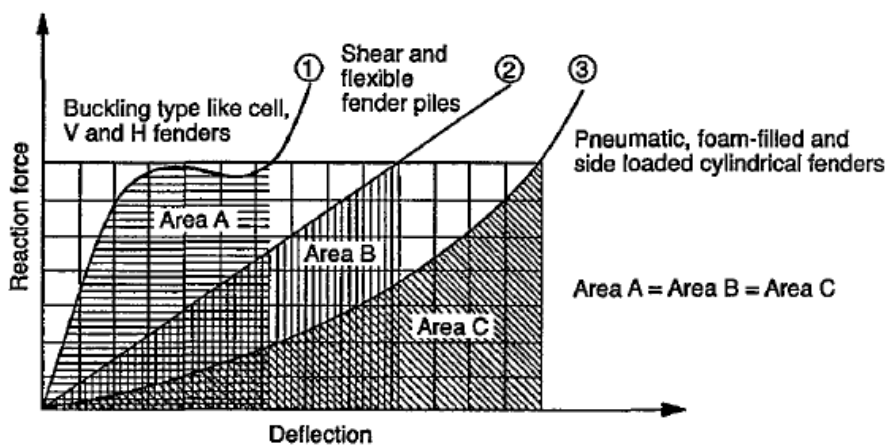


Figura 42 - Capacidade de absorção das diferentes tipologias de defensas (Thoresen, 2003).

Através de memórias técnicas fornecidas pela APDL (Administração dos Portos do Douro, Leixões e Viana do Castelo), é possível obter a curva de desempenho que diz respeito à defesa utilizada na Doca 4 norte, do Porto de Leixões, estudada neste projeto. Os testes para obtenção dessa curva são realizados em laboratório, através de um deslocamento imposto em defensas à escala real e em conformidade com as diretrizes da PIANC, algumas das quais são descritas nos pontos seguintes:

- Defensas testadas sob compressão direta;
- Velocidade de compressão de 2 cm a 8 cm por minuto;
- Os resultados do primeiro ciclo de compressão não são registados;
- A capacidade de absorção de energia é calculada pela regra de Simpson, obtida integrando a função representativa da relação “deformação-reação” (Curva de desempenho).

As figuras 43 e 44 representam o processo laboratorial de caracterização do comportamento mecânico do elemento de borracha e a curva de desempenho do modelo SPC 800 G2.7, respetivamente.



Figura 43 - Processo laboratorial para determinação do rendimento da defesa (ShibataFenderTeam, 2015).

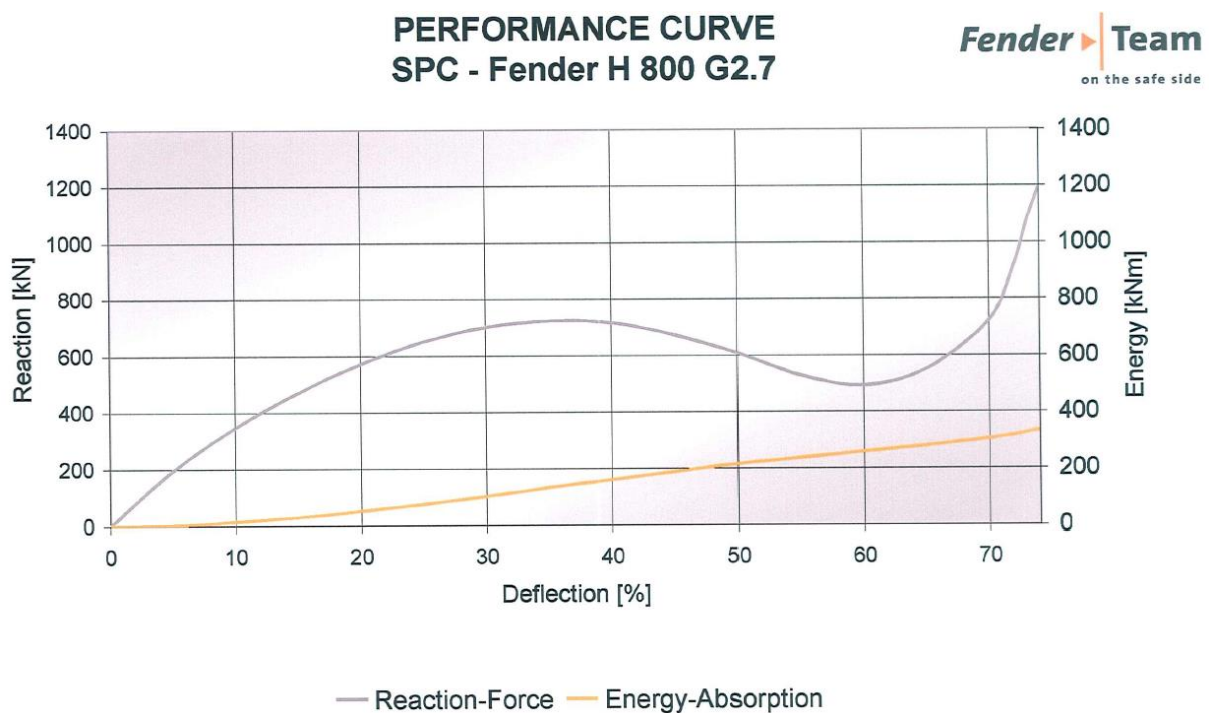


Figura 44 - Curva de desempenho da defesa SPC 800 G2.7 (Memória Técnica APDL, 2008).

- Correntes

De acordo com a memória técnica, disponibilizada pela APDL, referente ao sistema de defensas em estudo, as correntes são categorizadas de acordo com a sua funcionalidade da seguinte forma: correntes de tensão, correntes de peso e correntes de cisalhamento.

A utilização de correntes de tensão (superiores e inferiores), tem como objetivo limitar o excesso de compressão/alongamento da defesa, quando sujeita a compressões angulares. As compressões angulares ocorrem quando o contacto entre a embarcação e o painel frontal da defesa não é uniforme. A necessidade da sua colocação, é normalmente determinada pela análise de diferentes condições de

acostagem, tal como a acostagem de baixo contacto (acostagem de um navio ao sistema de defesa abaixo da zona central do painel frontal). Neste caso, o sistema absorve energia comprimindo a defesa na zona inferior, e por alongamento da zona superior, tal como demonstrado na figura 45.

Existem diversas condições de acostagem, para além da mencionada acima, tais como: acostagem horizontal, acostagem com rotação do navio e acostagem com contacto do navio através de alargamento.

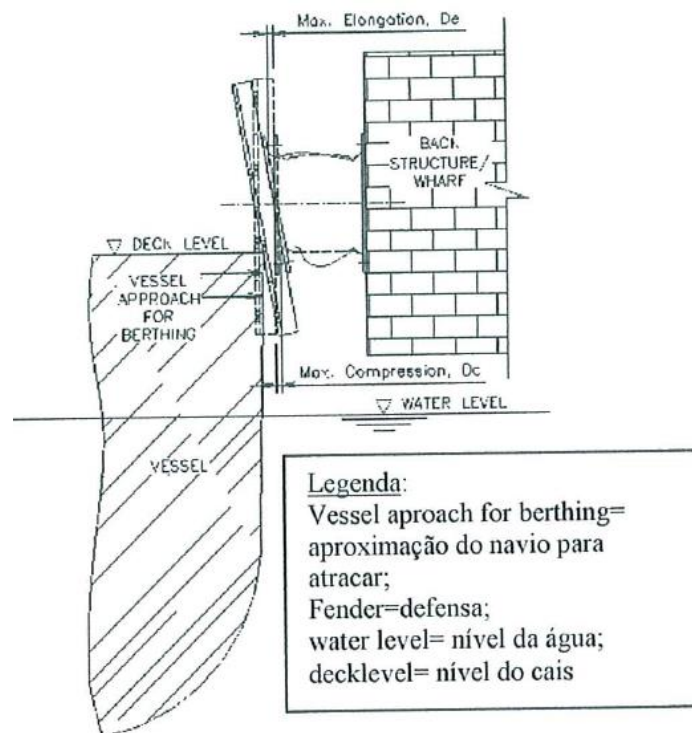


Figura 45 - Acostagem de baixo contacto (Memória Técnica APDL, 2008).

A necessidade das correntes de peso está diretamente relacionada com o limite de peso suportado pela defesa. Os acessórios deste sistema, tais como o painel frontal, as almofadas frontais, os parafusos de fixação da estrutura, entre outros, podem na sua globalidade ultrapassar os limites de peso estabelecidos, exigindo desta forma utilização destas correntes. O excesso de peso originado por estes acessórios poderá causar uma significativa inclinação da estrutura.

As forças de atrito originadas pelo contacto entre o painel frontal e o casco do navio, provocam esforços de corte na defesa. As correntes de cisalhamento são colocadas quando o limite de resistência ao corte da defesa, é ultrapassado. Estas restringem os movimentos horizontais da defesa, contribuindo para a sua resistência a esforços de corte e aumento da sua durabilidade.

4.2. Modelação numérica

4.2.1. Objetivo

Com recurso ao programa “Ansys Structural Analysis”, pretende-se criar um modelo geométrico representativo de uma defesa marítima utilizada na Doca 4 Norte, do Porto de Leixões. Este modelo para além de geometricamente semelhante, deve replicar o comportamento real da estrutura.

O propósito deste modelo foi o de permitir o estudo da estrutura quando sujeita a várias solicitações, assim como determinar o seu desempenho e identificar zonas de maior deformação. Este estudo permitirá também a análise da arquitetura de sensores a adotar para monitorizar a defesa.

Os contactos não uniformes entre o casco do navio e a defesa originam inclinação no painel frontal, provocando deslocamentos desiguais em diferentes zonas desta estrutura. Este grau de inclinação deverá ser facilmente determinado com recurso aos resultados obtidos por parte do sistema de monitorização a implementar nesta estrutura. O modelo em questão possibilita o estudo de solicitações capazes de criar deslocamentos desiguais ao longo do painel, permitindo desta forma auxiliar no correto posicionamento dos sensores. De notar que o estudo comportamental da defesa a partir do modelo mencionado tem também como objetivo auxiliar na calibração de futuros ensaios laboratoriais, realizados com estruturas reais.

4.2.2. Considerações iniciais

Numa primeira fase, a utilização do software “Ansys Structural Analysis”, passa pela escolha da análise mais adequada fase ao problema em questão. “Transient Structural” é um tipo de análise apropriado para problemas com deslocamento imposto a variar com o tempo, onde efeitos de amortecimento são considerados de elevada relevância.

A defesa, conforme mencionado no capítulo 4.1, é composta por três elementos principais. O painel frontal e as correntes são fabricados em aço estrutural, enquanto que os módulos de borracha, tal como o próprio nome indica, são fabricados em borracha. O material “Structural Steel”, disponível na biblioteca de materiais do software “Ansys”, reúne as características necessárias para representar o aço estrutural que é utilizado na estrutura da defesa. No entanto o material “borracha” apresenta um comportamento particular, não existindo nesta biblioteca qualquer material representativo do mesmo. Desta forma, foi necessário introduzir um novo material nesta biblioteca, de forma a possibilitar a sua utilização aquando da análise estrutural.

A análise da curva de desempenho demonstra o comportamento não linear da defesa quando submetida a solicitações de compressão, característica essa proveniente da irregularidade geometria dos módulos de borracha. Nesse sentido, a introdução do material no software foi realizada através do módulo de elasticidade, atribuindo-lhe assim uma relação tensão-deformação linear. Ao associar esse material aos módulos de borracha de geometria irregular, espera-se obter um comportamento idêntico ao da estrutura real, representado pela sua curva de desempenho.

O cálculo do módulo de elasticidade é descrito nos parágrafos seguintes:

A Lei de Hooke, estabelece uma relação linear entre a tensão e a deformação experimentada por um determinado corpo. Essa relação é expressa pela equação 14, onde “ σ ” representa a tensão normal, “F” a força atuante, “A” a área sobre a qual a força atua, “E” o modulo de elasticidade e “ ε ” a deformação do corpo solicitado.

$$\sigma = \frac{F}{A} = E * \varepsilon \quad (14)$$

Com exceção do módulo de elasticidade, todas as restantes variáveis são determinadas pela análise da curva de desempenho, e pelo estudo da geometria dos módulos de borracha.

A área da secção transversal dos módulos de borracha, devido à sua irregularidade geométrica, varia ao longo do seu comprimento. Conseqüentemente, de modo a obter um módulo de elasticidade representativo do comportamento deste elemento, foram consideradas quatro secções transversais distintas, representadas na figura 46. A área da seção transversal de cálculo (A_c), é resultado da média entre as diferentes áreas transversais das secções consideradas.

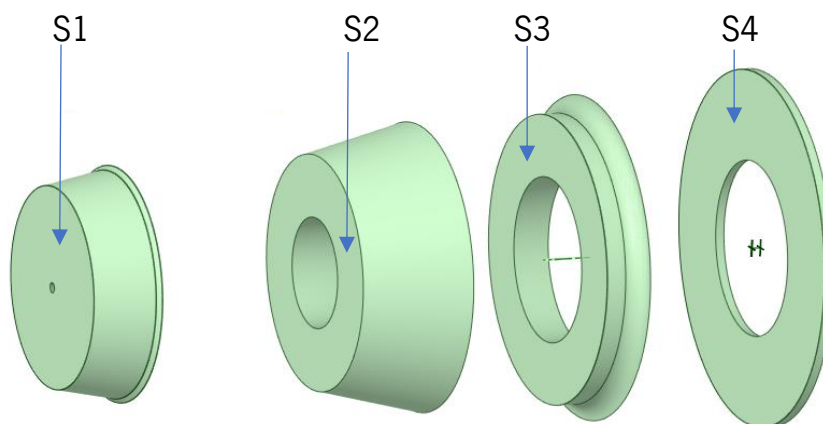


Figura 46 - Secções transversais da geometria do módulo de borracha.

$$S1 = 0,97 \text{ m}^2 ; S2 = 0,57 \text{ m}^2 ; S3 = 0,44 \text{ m}^2 ; S4 = 0,42 \text{ m}^2$$

$$A_c = \frac{0,97 + 0,57 + 0,44 + 0,42}{4} = 0,60 \text{ m}^2$$

A curva de desempenho indica a força de reação da defesa que é obtida para diferentes níveis de deformação. Esta curva é obtida por meio de ensaios laboratoriais, submetendo a estrutura a ensaios de compressão em controlo de deslocamento.

A tabela 19 agrupa alguns dos resultados correspondentes à relação “reação-deformação”, adquiridos pela análise da curva de desempenho, numa fase inicial caracterizada por um comportamento do sistema quase linear.

Tabela 19 - Dados da curva de desempenho da estrutura real.

Reação (kN)	Deformação (%)
200	5
400	12
600	22

É importante observar que a deformação é expressa em percentagem. O comprimento correspondente a cada módulo de borracha é aproximadamente 702,92 mm. A partir desta medida é possível a conversão da deformação percentual para metros por metro.

Posto isto, na tabela 20 estão registadas as variáveis necessárias para o cálculo final do módulo de elasticidade.

Tabela 20 - Variáveis de cálculo do módulo de elasticidade.

Reação (kN)	Deformação (%)	Deformação (m/m)	Área de calculo (m ²)
200	5	0,0352	0,6
400	12	0,0844	
600	22	0,1546	

Através da aplicação da equação 10, e recorrendo aos resultados descritos acima, torna-se possível o cálculo do módulo de elasticidade. É necessário realizar uma média dos resultados obtidos, uma vez que, o material é obrigatoriamente definido por apenas um módulo de elasticidade.

$$\frac{200}{0,6} = E * 0,0352 \Leftrightarrow E = 9470 \text{ kPa}$$

$$\frac{400}{0,6} = E * 0,0844 \Leftrightarrow E = 7899 \text{ kPa}$$

$$\frac{600}{0,6} = E * 0,1546 \Leftrightarrow E = 6468 \text{ kPa}$$

$$E_{\text{médio}} = \frac{9470 + 7899 + 6468}{3} = 7946 \text{ kPa} = 7,95 \text{ MPa}$$

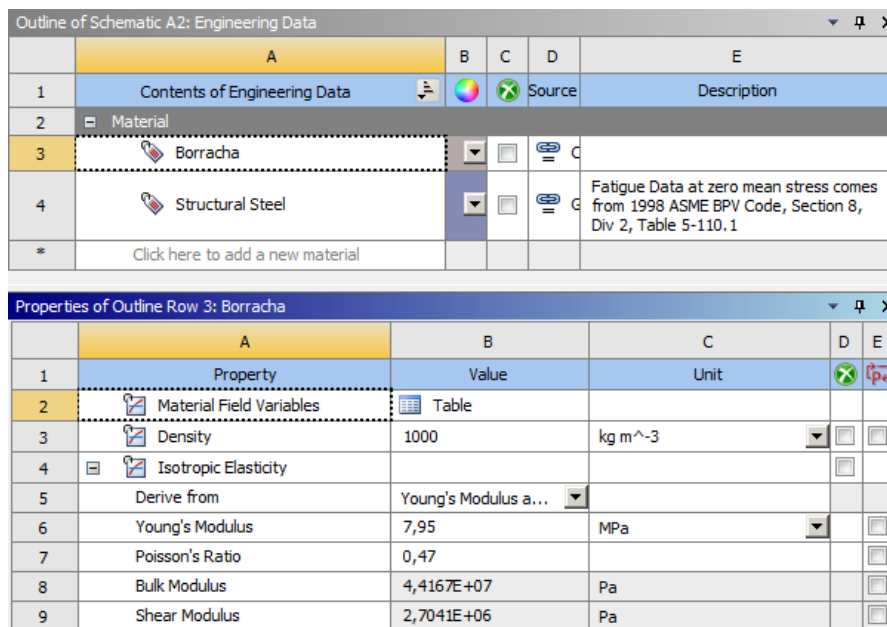


Figura 47 - Introdução do material "borracha" no software Ansys.

4.2.3. Modelação da geometria

A modelação de geometria representa uma das primeiras fases no estudo estrutural da defesa marítima. Nesta fase, recorrendo às memórias técnicas fornecidas pela APDL (Administração dos Portos do Douro, Leixões e Viana do Castelo), bem como a catálogos da empresa fornecedora do sistema de defensas, é possível obter algumas dimensões fundamentais para uma representação exata da realidade no modelo geométrico. No entanto, nem todas as medidas necessárias se encontram disponíveis nos desenhos fornecidos, sendo estas obtidas através da aplicação de uma escala apropriada.

Nas figuras 48 e 49 apresentam-se os desenhos fornecidos pela APDL, assim como os desenhos retirados dos catálogos da empresa fornecedora “ShibataFenderTeam”.

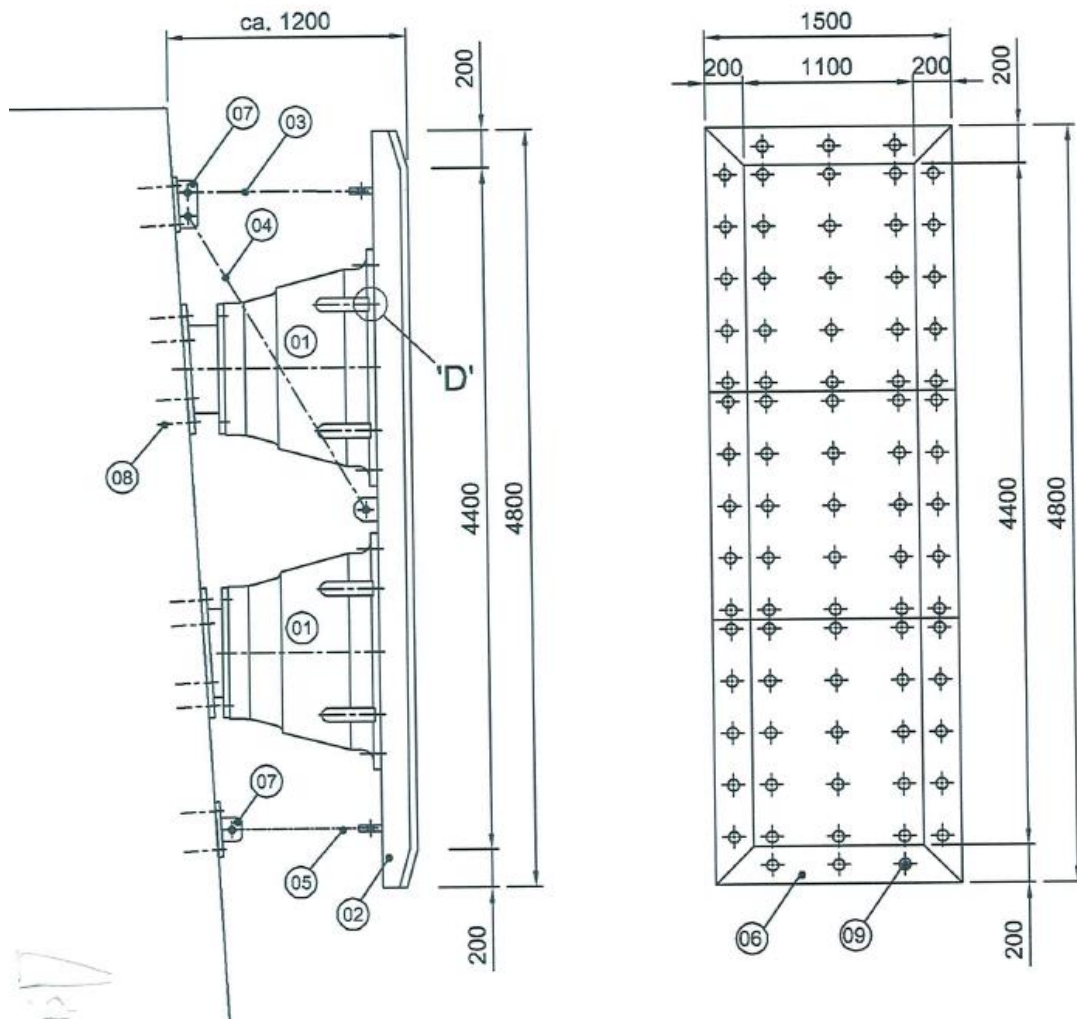
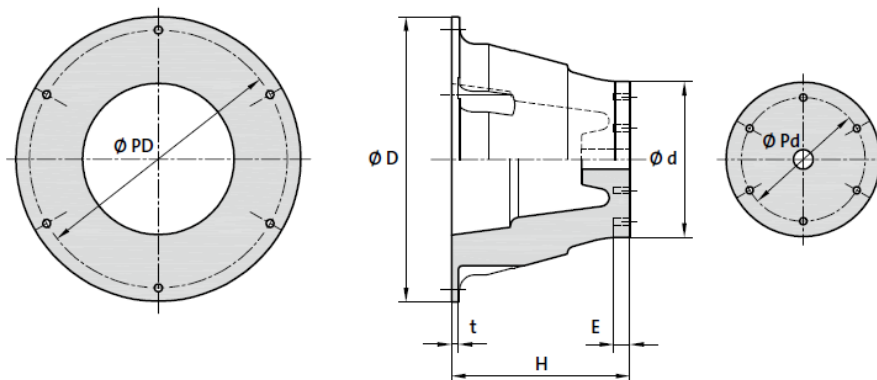


Figura 48 – Dimensões da defesa SPC 800 G2.7 (Memória Técnica APDL, 2008).



SPC - DIMENSIONES DE LA DEFENSA

Defensa	H [mm]	Ø D [mm]	Ø d [mm]	t [mm]	E [mm]	Ø PD [mm]	Ø Pd [mm]	Pernos	Peso [kg]
SPC 300	300	500	262	18	38	440	210	4 x M20	34
SPC 350	350	575	306	20	38	510	245	4 x M20	52
SPC 400	400	650	350	20	38	585	280	4 x M20	74
SPC 500	500	820	435	22	45	730	350	4 x M24	148
SPC 600	600	900	525	23	45	810	420	4 x M24	243
SPC 700	700	1120	615	26	72	1020	490	4 x M30	396
SPC 800	800	1280	700	31	72	1165	560	6 x M30	577
SPC 900	900	1450	785	36	72	1313	630	6 x M30	846
SPC 1000	1000	1600	875	38	82	1460	700	6 x M36	1114
SPC 1100	1100	1760	963	40	92	1605	770	6 x M42	1525
SPC 1150	1150	1850	1010	41	92	1550	805	6 x M42	1731
SPC 1200	1200	1920	1050	46	92	1750	840	8 x M42	1951
SPC 1300	1300	2080	1140	50	105	1900	910	8 x M48	2446
SPC 1400	1400	2240	1230	53	105	2040	980	8 x M48	2987
SPC 1600	1600	2560	1400	64	105	2330	1120	8 x M48	4409
SPC 1800	1800	2880	1575	74	120	2620	1260	10 x M56	6618
SPC 2000	2000	3090	1750	80	120	2920	1400	10 x M56	9560

Defensa	H [mm]	i [mm]	j [mm]	k [mm]	ED [mm]
SPC 300	300	225	540	45	≥ 300
SPC 350	350	263	630	53	≥ 350
SPC 400	400	300	720	60	≥ 400
SPC 500	500	375	900	75	≥ 500
SPC 600	600	450	1080	90	≥ 600
SPC 700	700	525	1260	105	≥ 700
SPC 800	800	600	1440	120	≥ 800
SPC 900	900	675	1620	135	≥ 900
SPC 1000	1000	750	1800	150	≥ 1000
SPC 1100	1100	825	1900	165	≥ 1100
SPC 1150	1150	863	2070	173	≥ 1150
SPC 1200	1200	900	2160	180	≥ 1200
SPC 1300	1300	975	2340	195	≥ 1300
SPC 1400	1400	1050	2520	210	≥ 1400
SPC 1600	1600	1200	2880	240	≥ 1600
SPC 1800	1800	1350	3240	270	≥ 1800
SPC 2000	2000	1500	3600	300	≥ 2000

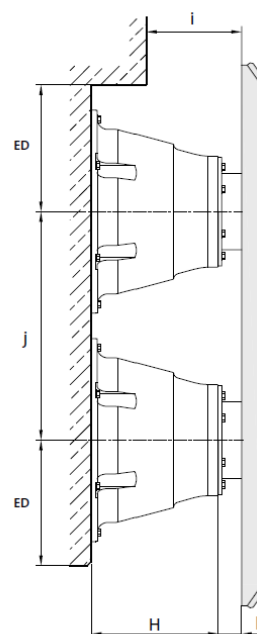


Figura 49 - Dimensões da defesa SPC 800 G2.7 (ShibataFenderTeam, 2015).

É importante salientar que o modelo geométrico desempenha um papel fulcral no estudo estrutural, uma vez que para obter resultados representativos da realidade, todas as várias particularidades da estrutura real devem ser adequadamente incorporadas no modelo geométrico, somente assim é expectável obter um comportamento semelhante.

Ao longo de todo o processo do estudo estrutural, com base nos resultados obtidos e visando simplificar a resolução do modelo, este sofreu algumas adaptações. No decorrer desta dissertação, essas adaptações serão mencionadas e devidamente justificadas.

Inicialmente, o modelo geométrico da estrutura incluía a representação pormenorizada das correntes utilizadas no sistema de defensas real. No entanto, a complexidade da sua geometria e a dificuldade em simular a ligação entre os diversos elos das correntes, incluindo a necessidade de simular o problema de 'contacto', originou dificuldades de convergência do modelo numérico e complexidades da análise que a certa altura se entenderam ser desnecessárias nesta fase. Deste modo, uma das adaptações ao modelo inicial consistiu na substituição das correntes por um elemento capaz de desempenhar a mesma função e de características idênticas. As correntes na estrutura real têm como função principal contribuir para a resistência a esforços de tração, funcionando assim como tirantes.

O processo para a criação deste elemento é explicado nos seguintes passos:

- 1) Recorrendo à ferramenta de modelação geométrica, removeram-se os vários elementos que constituem as correntes, substituindo-os por perfis metálicos circulares de comprimento e diâmetro igual ao das correntes utilizadas na estrutura real.
- 2) Na análise estrutural, nas propriedades dos perfis metálicos, é importante notar que o software considera estes elementos como "vigas" ("Beams"). No entanto, para que estes elementos desempenhem a função de tirantes, é necessário alterar a tipologia de elemento considerada, substituindo em "Model Type" o parâmetro "Beam" para "Link/Truss". Desta forma, estes elementos são agora considerados como ligações. Além disso, no parâmetro "Behavior" alterando para "Tension Only", é garantido que este elemento não contribui em solicitações capazes de originar esforços de compressão.
- 3) Ainda nas propriedades destes elementos, no parâmetro "Material", introduzir "Structural Steel", de forma a atribuir as propriedades de aço estrutural.

Esta alteração não compromete a fiabilidade dos resultados obtidos, permite reduzir a complexidade do modelo geométrico, beneficiando o processo de cálculo para obtenção de resultados

na análise estrutural. Estes elementos contribuem para o comportamento estrutural do modelo, da mesma forma que as correntes o fazem na estrutura real.

De salientar que, esta simplificação possibilitou ainda aplicar uma inclinação nos tirantes, inclinação esta observada nas correntes reais, e que tem como objetivo reduzir os efeitos dos esforços de corte a que o sistema de defensas é submetido durante e após a atracação das embarcações.

As figuras 50 e 51 apresentam a evolução do modelo geométrico nesta fase inicial.

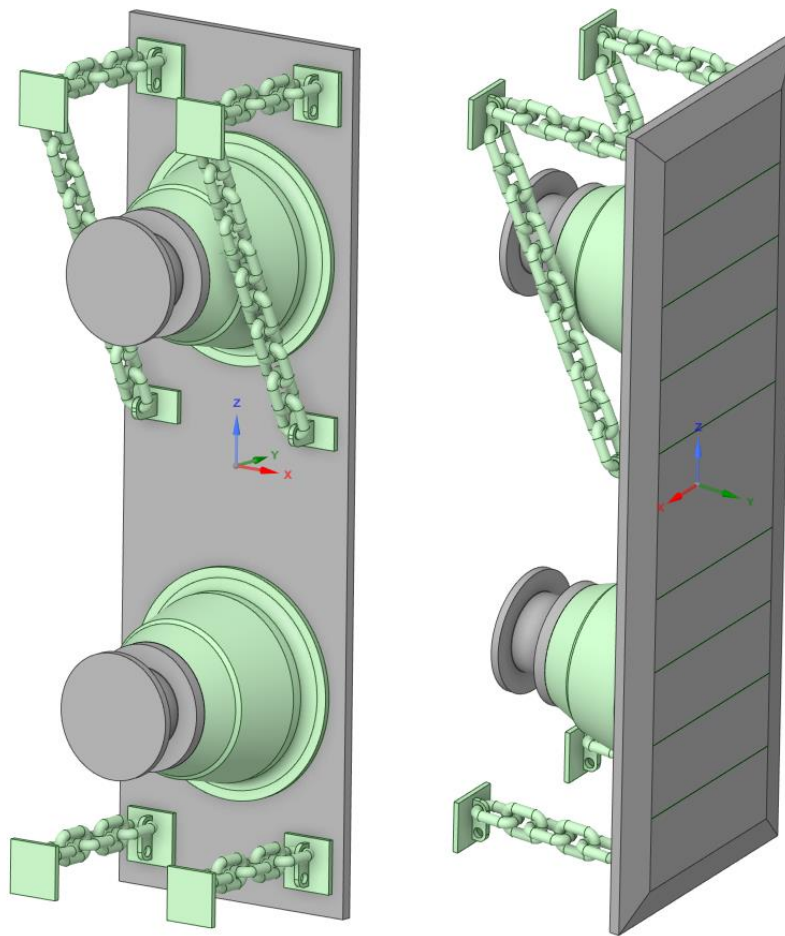


Figura 50 - Modelo geométrico inicial.

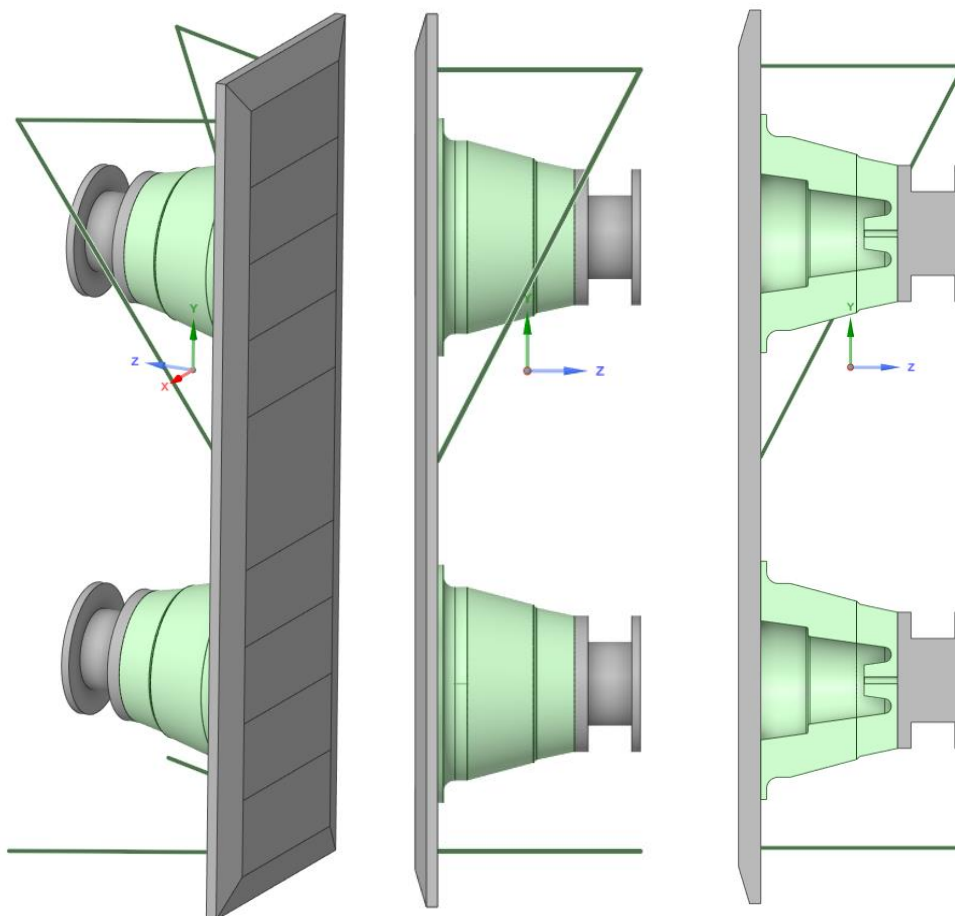


Figura 51 - Modelo geométrico após adaptações.

4.3. Análise estrutural do modelo geométrico

Para realizar a análise do modelo, inicialmente, é necessário definir alguns parâmetros. Estes parâmetros incluem as condições fronteira, os materiais representativos dos diferentes elementos da geometria, as ações atuantes e a estruturação de uma malha suficientemente refinada.

Devido à natureza não linear da análise estrutural, proveniente da irregularidade geométrica dos módulos de borracha, é fundamental considerar a opção “Large Deflection”. Esta opção permite ao software “Ansys” considerar as variações na rigidez da estrutura, resultantes da sua deformação.

4.3.1. Condições fronteira

O encastramento da defesa marítima à infraestrutura portuária, é realizado na sua totalidade com recurso a parafusos. Esta condição de apoio é facilmente incluída no modelo, considerando apoios fixos nas extremidades das correntes e no elemento em aço estrutural, existente entre os módulos de

borracha e o cais. As conexões entre os diferentes componentes do sistema, são também efetuadas por aparafusamento, sendo igualmente representadas como ligações fixas no programa de cálculo. A figura 52 (Esquerda) apresenta a estrutura real, onde são perceptíveis as diferentes conexões mencionadas. A figura 52 (Direita) representa a azul as condições de apoio e a vermelho as ligações fixas consideradas no software.

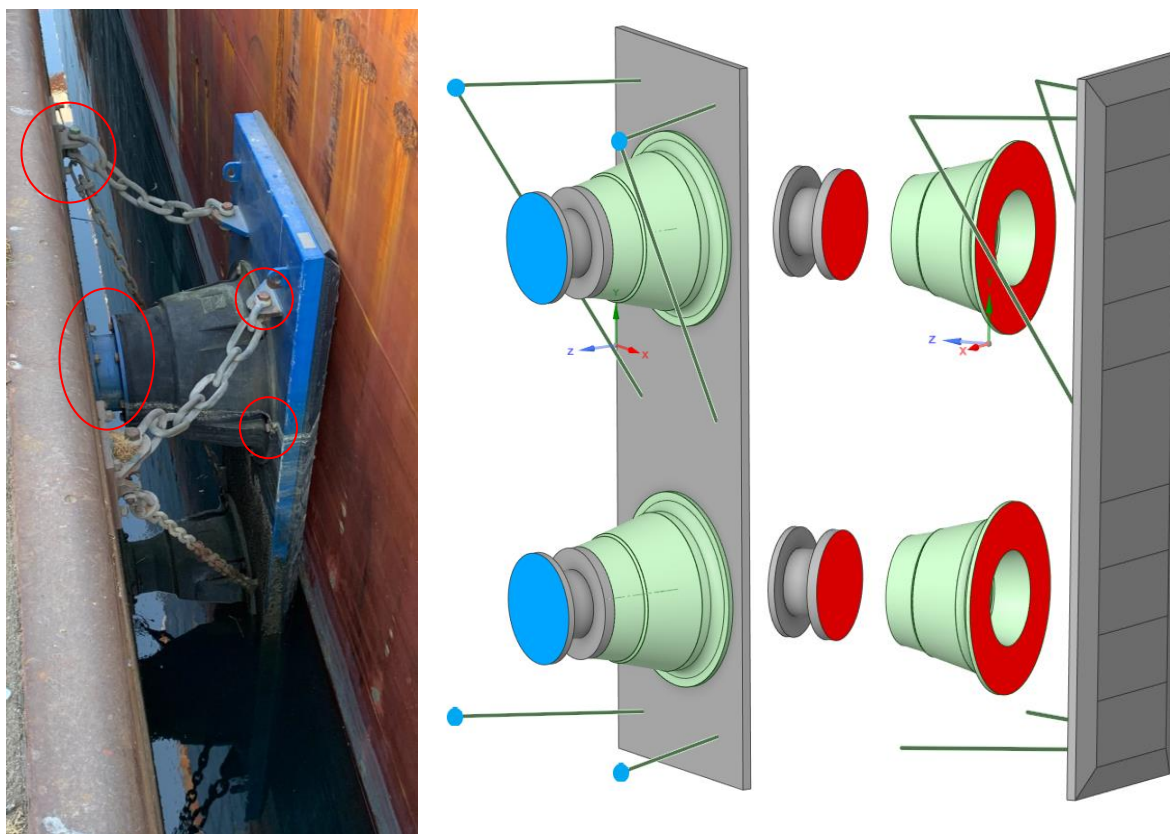


Figura 52 - Condições de apoio da estrutura real (Esquerda); Condições de apoio do modelo numérico (Direita).

4.3.2. Solicitações exercidas no modelo numérico

No momento da acostagem e durante o período em que os navios se encontram atracados, o sistema de defensas é submetido a várias solicitações. A diversidade de solicitações existentes deve-se em grande parte à tipologia de navio, geometria e singularidades do seu casco, responsáveis por implicar diferentes áreas de contacto entre o navio e o painel frontal do sistema de defensas.

A curva de desempenho é obtida por meio de um ensaio laboratorial de compressão, em controlo de deslocamento. Este mesmo deslocamento é imposto na totalidade da área do painel frontal, comprimindo a defesa de forma uniforme.

Posto isto, a análise estrutural deste modelo foi realizada em duas fases distintas. Inicialmente, foi aplicado um deslocamento em toda a área do painel frontal. Uma vez que o comportamento da defesa real para esta solicitação é conhecido através da curva de desempenho, é perceptível se o modelo numérico apresenta um comportamento semelhante ao da estrutura real. Caso contrário, os resultados obtidos auxiliam na calibração do modelo.

Na segunda fase da análise estrutural, foi aplicado um deslocamento de igual magnitude, porém em diferentes áreas do painel frontal, de acordo com as condições de acostagem mencionadas anteriormente (acostagem horizontal, acostagem com rotação do navio, acostagem com contacto do navio através do alargamento e acostagem de baixo contacto). Cada uma destas condições de carregamento implica a aplicação de um deslocamento em diferentes zonas do painel frontal, permitindo uma avaliação abrangente do comportamento da defesa marítima diante de diferentes cenários de acostagem. Nesta fase, o objetivo principal foi o de avaliar quais as perdas de rendimento, as distribuições de carga e forças de reação resultantes dos vários cenários de acostagem.

A figura 53 representa o caso de carga considerado na fase inicial da análise estrutural. A representação dos casos de carga considerados na segunda fase apresenta-se nas figuras 54, 55 e 56.

Caso de carga 1: Acostagem com contacto total no painel frontal.

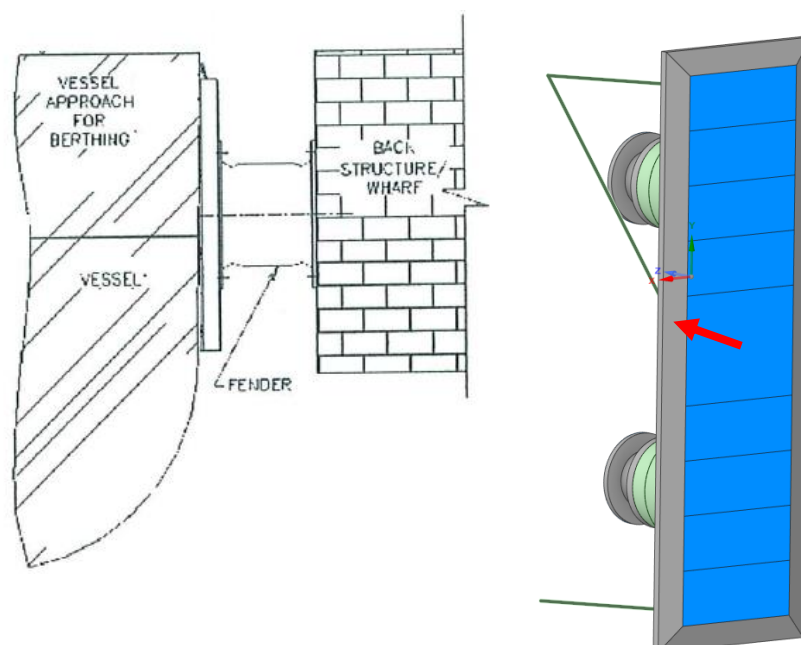


Figura 53 - Acostagem de contacto total (Memória Técnica APDL, 2008).

Caso de carga 2: Acostagem de baixo contacto.

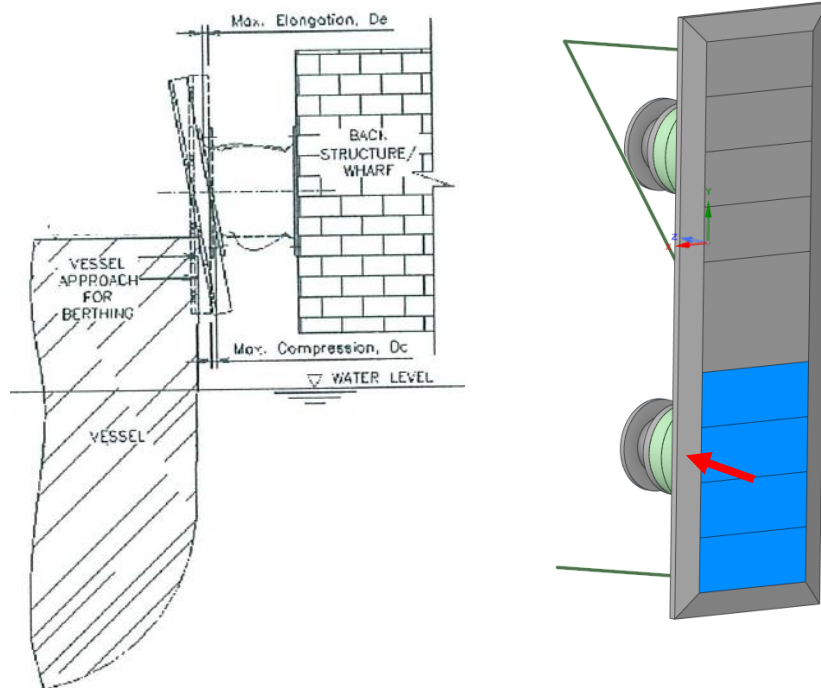


Figura 54 - Acostagem de baixo contacto (Memória Técnica APDL, 2008).

Caso de carga 3: Acostagem horizontal.

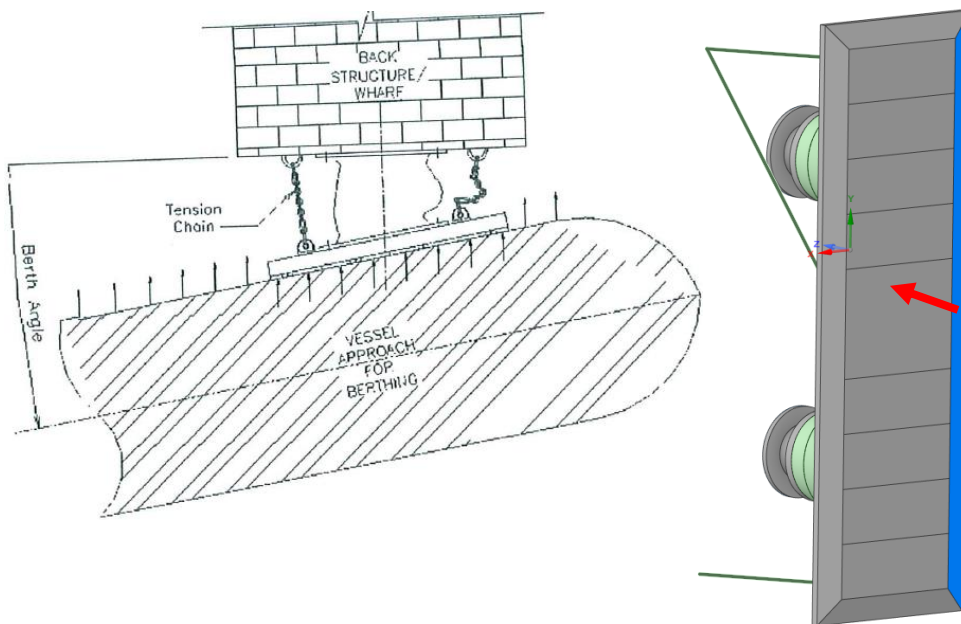


Figura 55 - Acostagem horizontal (Memória Técnica APDL, 2008).

Caso de carga 4: Acostagem com rotação do navio.

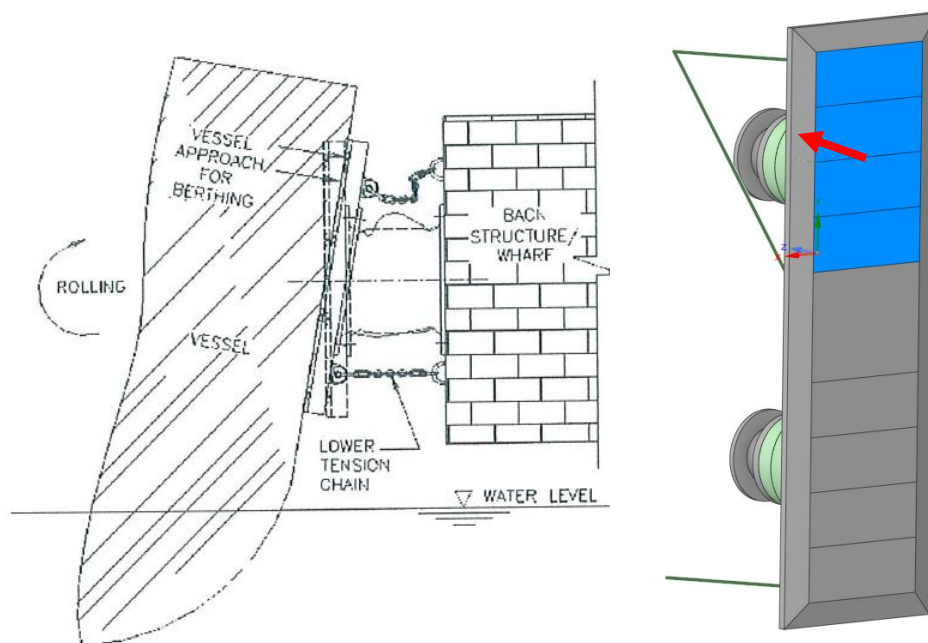


Figura 56 - Acostagem com rotação do navio (Memória Técnica APDL, 2008).

De acordo com o catálogo da empresa “ShibataFenderTeam”, a defesa SPC 800 G2.7, atinge a deformação máxima para 70% do comprimento dos módulos de borracha. No ensaio realizado para a obter a curva de desempenho, a velocidade do deslocamento imposto varia entre 2cm a 8cm por minuto. Com base nesta informação, é possível determinar a magnitude do deslocamento a impor no modelo em estudo. É importante salientar que a diferença entre as diversas solicitações recai no local de aplicação, e não na magnitude do deslocamento, que se mantém constante para todas as solicitações, uma vez que a velocidade de acostagem é controlada e limitada.

Desta forma, de seguida é demonstrada a metodologia de cálculo adotada neste estudo, para determinação dos parâmetros do deslocamento aplicado.

Dados iniciais:

- Comprimento dos módulos de borracha: 702,92 mm
- Deformação máxima do sistema de defesa: 70%
- Deslocamento imposto no ensaio laboratorial: 20 mm a cada 60 segundos.

1) Cálculo do deslocamento máximo imposto:

$$702,92 * 0,7 = 492,044 \text{ mm}$$

2) Cálculo do intervalo de tempo necessário para atingir o deslocamento máximo:

$$\frac{492,044}{20} * 60 \cong 1480 \text{ s}$$

Nos ensaios laboratoriais o deslocamento é aplicado gradualmente ao longo do tempo, atingindo o seu limite máximo após 1480 segundos. Na análise estrutural do modelo, é importante replicar esta condição de aplicação. Desta forma, foram considerados 1480 “Steps” cada um com 1 segundo de “Time Step”. Assim, é apenas necessário repartir o deslocamento máximo de 492,044 mm por 1480 “Steps”, obtendo assim um aumento de deslocamento gradual de aproximadamente 0,34 mm por segundo.

4.3.3. Sensores de proximidade ultrassônicos

A contribuição dos sensores de proximidade ultrassônicos neste projeto pode ser resumida em dois objetivos:

- Primeiramente, determinar a distância entre o painel frontal e a estrutura portuária, permitindo uma monitorização praticamente em tempo real da deformação dos módulos de borracha. Esta informação auxilia na prevenção de eventuais roturas destas estruturas. Adicionalmente, a longo prazo, acompanhando o historial de resultados, é possível identificar perdas de rendimento resultantes da degradação do material após vários ciclos de compressão.
- Em segundo lugar, conforme mencionado anteriormente, ao posicionar estes sensores de acordo com uma determinada disposição, é facilmente determinado o grau de inclinação do painel frontal, para diferentes tipos de acostagem. Esta informação é extremamente relevante, uma vez que a defesa perde capacidade de absorção de energia quando comprimida obliquamente, o que pode originar uma rotura prematura.

O grau de inclinação do painel frontal pode ser facilmente determinado. A distância inicial (D_i) entre sensores é conhecida e não se altera, independentemente da solicitação. No entanto, a obtenção de diferentes distâncias (D_c), medidas por diferentes sensores, indicam a existência de uma inclinação do painel frontal induzida por solicitações não uniformes. Desta forma, através da diferença das

distâncias medidas (ΔDc), e recorrendo à distância inicial entre sensores (D_i), é possível determinar o ângulo de inclinação do painel.

Esta metodologia de cálculo é demonstrada com recurso ao exemplo seguinte. Considerando uma acostagem com rotação do navio, capaz de provocar a deformação apresentada na figura 57, e a partir da disposição de sensores representada nessa mesma figura, foram obtidos os seguintes resultados:

Tabela 21 - Dados auxiliares à metodologia de cálculo.

Distância inicial (D_i)	Distância ao cais - Sensor 1 (D_{c1})	Distância ao cais - Sensor 2 (D_{c2})
2,20 m	0,734 m	0,8758 m

$$\Delta Dc = D_{c2} - D_{c1} = 0,8758 - 0,734 = 0,142 \text{ m}$$

$$\cos \alpha = \frac{\Delta Dc}{D_i} \Leftrightarrow \alpha \cong 86^\circ$$

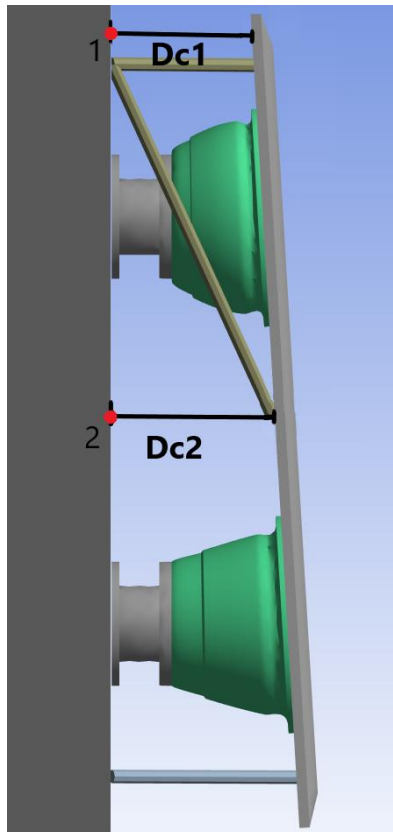


Figura 57 - Deslocamento do painel frontal e disposição de sensores (exemplo).

4.3.4. Estruturação da malha

A precisão com que o programa de cálculo é capaz de simular o comportamento real da estrutura e obter resultados de elevada exatidão depende, em grande parte, da estruturação de uma malha capaz de se adaptar à geometria do modelo. Quanto melhor a qualidade da malha (com uma maior quantidade de nós e elementos), melhores os resultados obtidos.

Tendo como objetivo analisar o desempenho do modelo em relação ao comportamento da estrutura real, e considerando que este desempenho depende maioritariamente dos módulos de borracha, a construção da malha foi realizada de modo a dar prioridade a estes elementos.

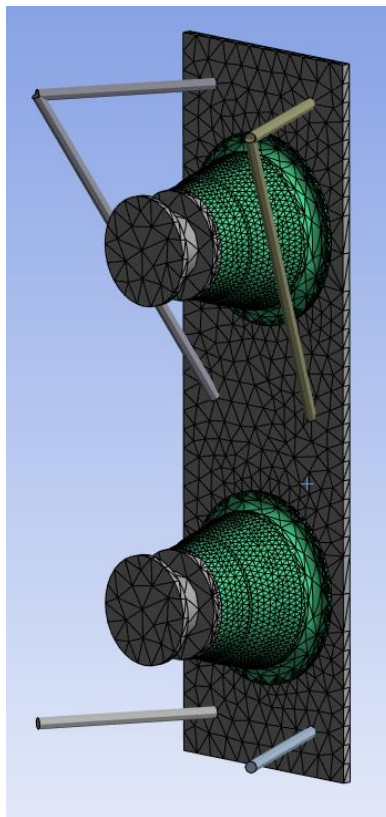


Figura 58 - Malha utilizada na análise estrutural.

4.3.5. Resultados

Definidos todos os parâmetros mencionados, estão reunidas todas as condições necessárias para a obtenção de resultados.

No capítulo dedicado às solicitações, são mencionadas duas fases distintas da análise estrutural. Desta forma, a obtenção de resultados é igualmente repartida em duas etapas. Inicialmente, pretendia-

se obter os deslocamentos dos módulos de borracha e as forças de reação nos apoios, resultantes da aplicação de um deslocamento imposto em toda a fase frontal do painel da defesa. Com recurso a esta informação, é possível obter uma curva “deformação-reação” representativa da resposta do modelo à solicitação mencionada. Esta curva pode ser comparada com a curva de desempenho da estrutura real, uma vez que ambas resultam da aplicação do mesmo deslocamento imposto.

Na figura 59 representa-se a azul a curva “deformação-reação” obtida na análise estrutural do modelo numérico, e a vermelho a curva de desempenho da estrutura real.

A diferença entre as curvas de desempenho é evidente, concluindo-se assim que este modelo numérico é incapaz de simular o comportamento real da estrutura. A obtenção da curva de resposta não linear real por parte do modelo numérico depende da sua capacidade de simular a instabilização das paredes do elemento de borracha. Aparentemente a deformação obtida por parte do modelo numérico é em tudo semelhante à deformação da defesa marítima real. Porém, é facilmente detetada a diferença entre as forças de reação de ambas as curvas de desempenho.

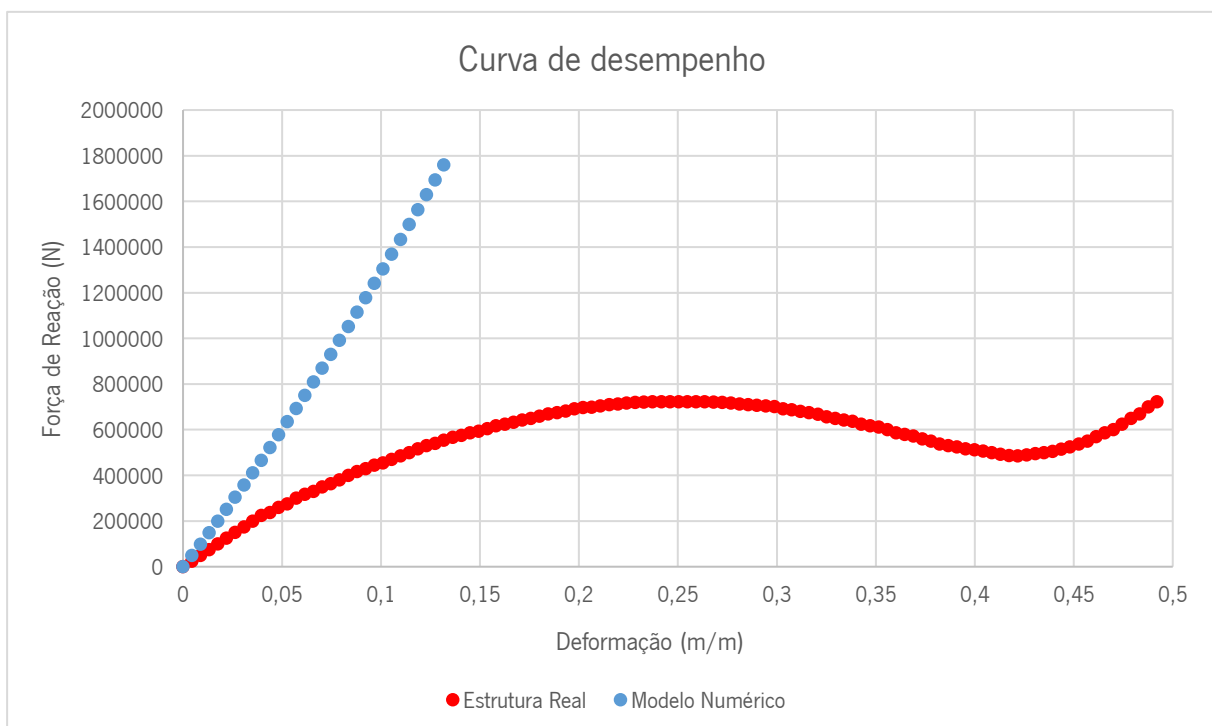


Figura 59 - Curvas de desempenho.

As figuras 60 e 61 representam respetivamente a comparação entre a deformada obtida por parte do modelo numérico, e a deformada da defesa marítima verificada aquando dos ensaios laboratoriais responsáveis pela obtenção da sua curva de desempenho.

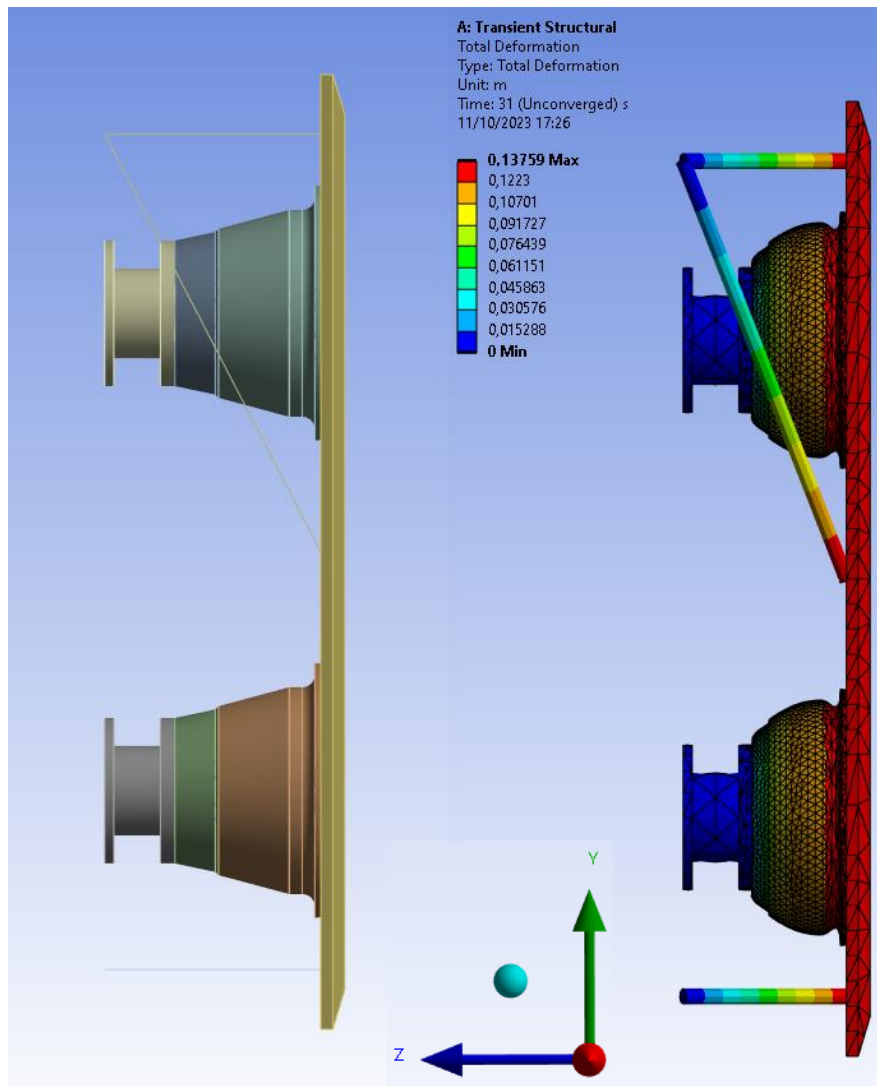


Figura 60 - Deformada obtida por parte do modelo numérico.



Figura 61 - Deformada da defesa marítima durante ensaios laboratoriais (ShibataFenderTeam, 2015).

Nesta fase, é necessário realizar algumas adaptações no modelo, visando aproximar o comportamento obtido ao da estrutural real.

A abordagem para a resolução do problema consiste em adotar uma metodologia oposta àquela que foi utilizada anteriormente. Isto é, introduzir no software um material “Borracha” caracterizado pelo

comportamento não linear material de modo a simular a não-linearidade observada na curva de desempenho da estrutura real, abdicando da irregularidade geométrica dos módulos de borracha e substituindo-os por uma geometria cúbica. Desta forma a não linearidade da análise estrutural é garantida pela utilização deste material, e não pela contribuição da irregularidade geométrica dos módulos de borracha.

O processo para a adaptação do modelo é explicado nos passos seguintes:

- 1) Considerou-se que a curva de desempenho da estrutura real representa a relação entre a força de reação e a respetiva deformação do material. Esta curva é resultado de um ensaio laboratorial em controlo de deslocamento, onde a defesa é comprimida até atingir rotura, podendo assim ser considerado um ensaio de cariz uniaxial.
- 2) O software “Ansys”, permite introduzir novos materiais na sua biblioteca através de dados recolhidos de experiências laboratoriais, como é o caso da defesa em estudo. Através do parâmetro “Uniaxial Test Data”, foi possível criar uma curva representativa da relação “Tensão-deformação” para o novo material.
- 3) Posto isto, foi necessário converter a informação proveniente da curva de desempenho para os parâmetros de entrada necessários para a definição do material no software.
- 4) Recorrendo à Lei de Hooke, o cálculo das tensões foi realizado de acordo com a seguinte expressão:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (15)$$

- 5) Nesta fase, o cálculo da tensão “ σ ” depende da força de reação “F”, sendo esta um dado adquirido a partir da curva de desempenho, e da área da secção transversal “A” da nova geometria dos módulos de borracha.
- 6) Recorrendo novamente à ferramenta de modelação geométrica, procedeu-se à criação da geometria cúbica dos novos módulos de borracha. A área da secção transversal foi obtida após concluído o modelo geométrico.
- 7) Estando as diferentes variáveis para determinação da tensão determinadas, calculou-se para cada força de reação a tensão equivalente, e desta forma obtiveram-se os parâmetros de entrada para criação da curva “Tensão-Deformação” e respetiva introdução no software.
- 8) A curva que define o comportamento não linear do material na resposta a diferentes solicitações foi introduzida como um novo material.

A figura 62 apresenta a geometria do novo modelo numérico. A introdução do material "Borracha" no software, é apresentada nas figuras 63 e 64.

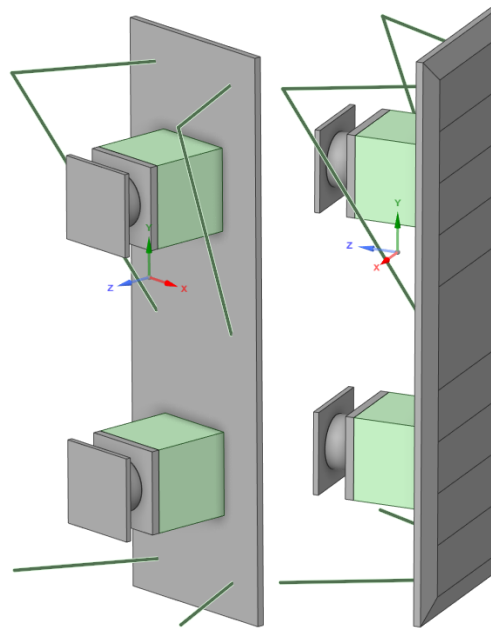


Figura 62 - Modelo geométrico após adaptações.

	A	B	C	D	E
1	Contents of Engineering Data			Source	Description
2	Material				
3	Borracha			C:\Users\g	
4	Structural Steel			General_M	Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1

	A	B	C
1	Property	Value	Unit
2	Material Field Variables	Table	
3	Density	1000	kg m ⁻³
4	Uniaxial Test Data	Tabular	
5	Scale	1	
6	Offset	0	Pa
7	Neo-Hookean		
10	Yeoh 2nd Order		
15	Yeoh 3rd Order		
16	Material Constant C10	4,976E+05	Pa
17	Material Constant C20	-3,7215E+05	Pa
18	Material Constant C30	1,3554E+05	Pa
19	Incompressibility Parameter D1	0	Pa ⁻¹
20	Incompressibility Parameter D2	0	Pa ⁻¹
21	Incompressibility Parameter D3	0	Pa ⁻¹

Figura 63 - Introdução do material "Borracha" no software.

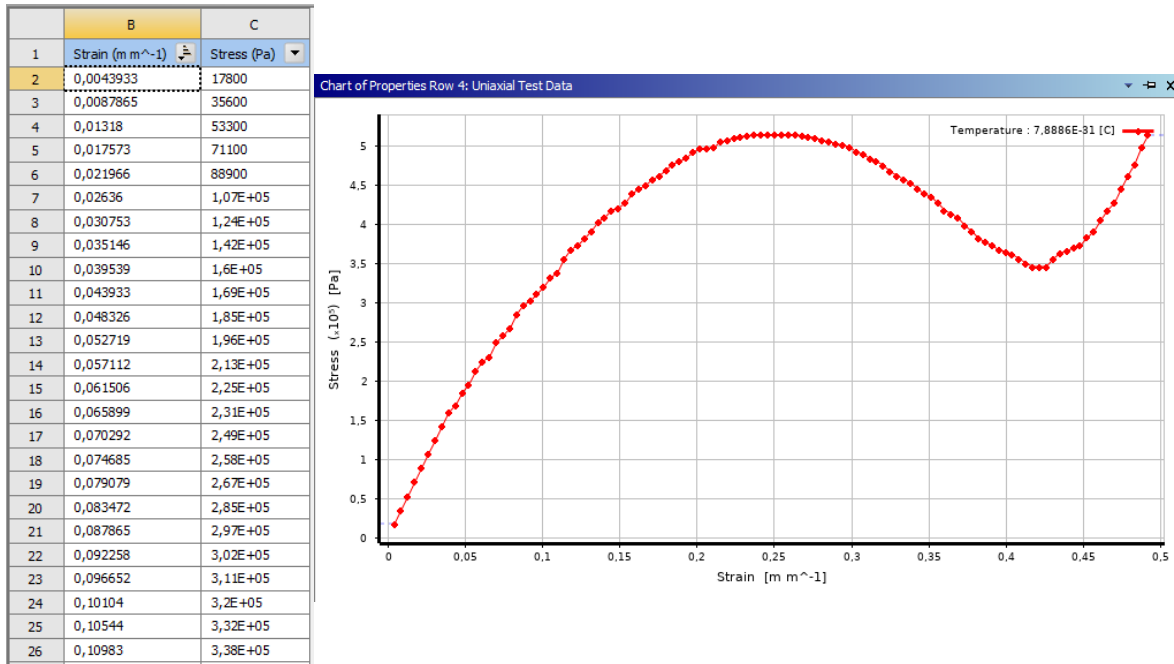


Figura 64 - Introdução do material "Borracha" no software.

Efetuada as adaptações no modelo, é reproduzida novamente a primeira etapa da análise estrutural. Da aplicação de um deslocamento imposto na totalidade da fase frontal do painel da defesa, surge uma nova curva “deformação-reação”, representativa do comportamento do novo modelo numérico. Na figura 65, é representado a verde essa mesma curva “deformação-reação”, e a vermelho a curva de desempenho da estrutura real.

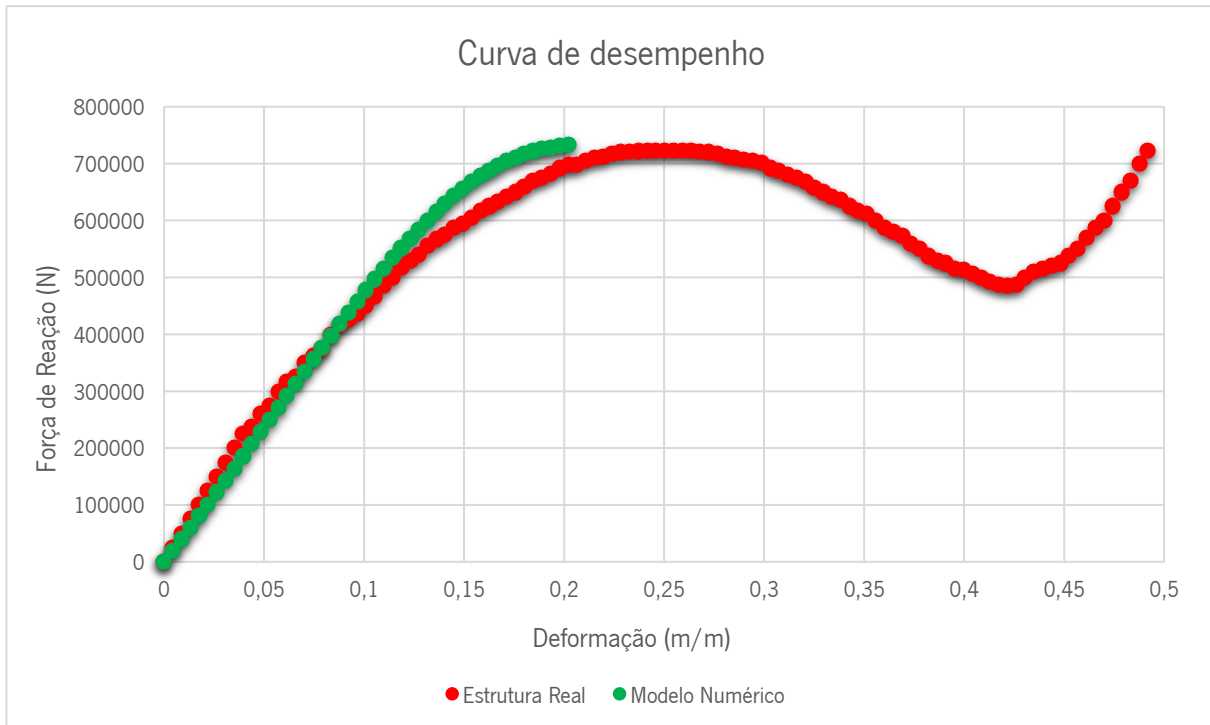


Figura 65 - Curvas de desempenho.

Pela análise da figura anterior, comparando as diferentes curvas, é perceptível a existência de uma melhoria significativa no comportamento do modelo numérico atual. A curva “deformação-reação” obtida aproxima-se bastante da curva de desempenho da estrutura real, existindo ainda assim, alguma diferença entre estas.

A curva de desempenho da estrutura real demonstra que a resistência máxima é alcançada para diferentes níveis de deformação. Inicialmente, para aproximadamente 35% de deformação do módulo de borracha, atingimos uma força de reação de 723kN, o que indica que a resistência máxima foi alcançada. Após esta fase, a estrutura perde rigidez e continua a deformar-se, resultando em forças de reação decrescentes entre 35% e 60% de deformação. No intervalo de deformação entre os 60% e os 70%, observa-se um novo incremento na rigidez da estrutura, atingindo novamente a força de reação máxima, momento em que ocorre a rotura da mesma.

O modelo numérico apresenta dificuldades em simular a totalidade deste comportamento, verificando-se uma interrupção na convergência de resultados, assim que a resistência máxima da estrutura é atingida pela primeira vez. Esta interrupção prematura era expectável, uma vez que nesta fase o modelo atinge a totalidade da sua resistência, resultando numa elevada deformação nos módulos de borracha constituintes do sistema.

Segundo o programa de cálculo, a resolução deste problema reside no refinamento da malha representativa dos módulos de borracha, ou na alteração das condições de aplicação do deslocamento imposto. Desta forma existe uma possibilidade de representar a totalidade do comportamento não linear da estrutural real, a partir deste modelo numérico. Porém limitações inerentes à versão gratuita do programa de cálculo, impossibilitam a implementação das soluções mencionadas.

Em contrapartida, o modelo numérico tem capacidade para simular o desempenho inicial da estrutura real, de forma satisfatória. Pela análise da figura 66, é perceptível que no intervalo de deformação entre 0% e 30%, a análise estrutural do modelo numérico proporciona a obtenção de resultados fiáveis.

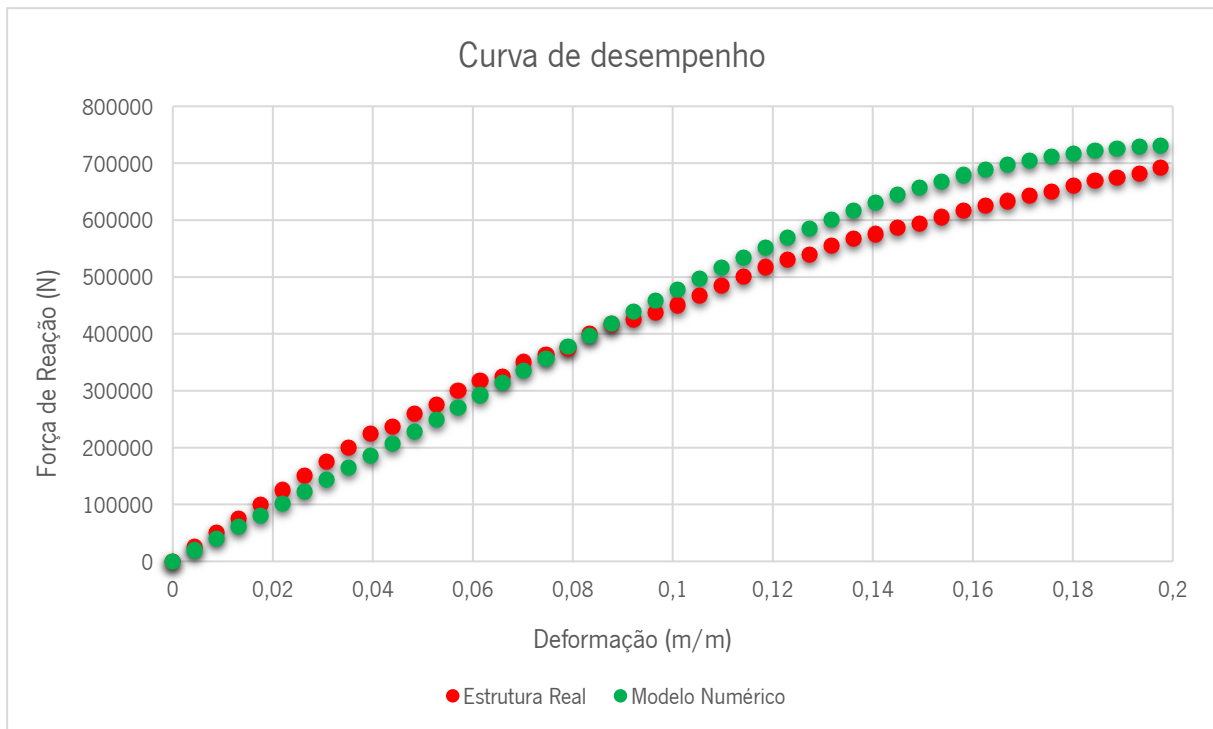


Figura 66 - Curvas de desempenho.

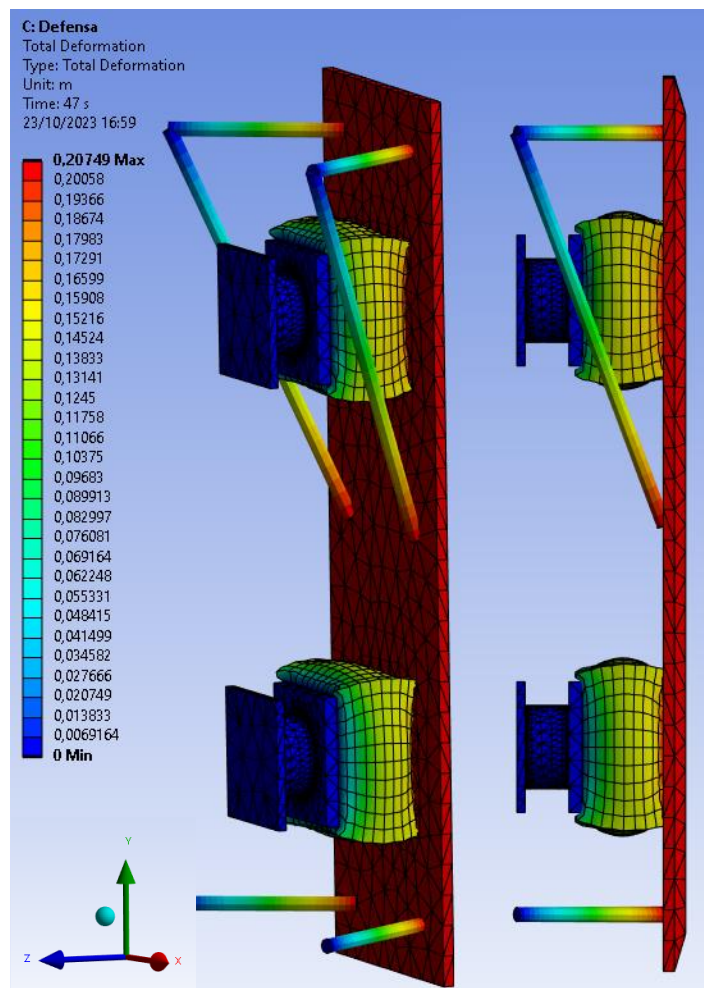


Figura 67 - Deformação da estrutura para o caso de carga 1.

Iniciando-se a segunda etapa da análise estrutural, foi aplicado um deslocamento de igual magnitude, porém em diferentes áreas do painel frontal, de acordo com as condições de acostagem referidas anteriormente. Nesta fase, tenciona-se obter os seguintes resultados: deslocamentos dos módulos de borracha, deformação total da estrutura e forças de reação nos apoios, resultantes da aplicação dos diferentes casos de carga mencionados na secção 4.3.2.

A seqüência de figuras seguinte (figuras 68,69,70,71,72 e 73) apresenta os resultados obtidos a partir da análise estrutural do modelo numérico, resultantes da aplicação dos diversos casos de carga.

Caso de carga 2: Acostagem de baixo contacto.

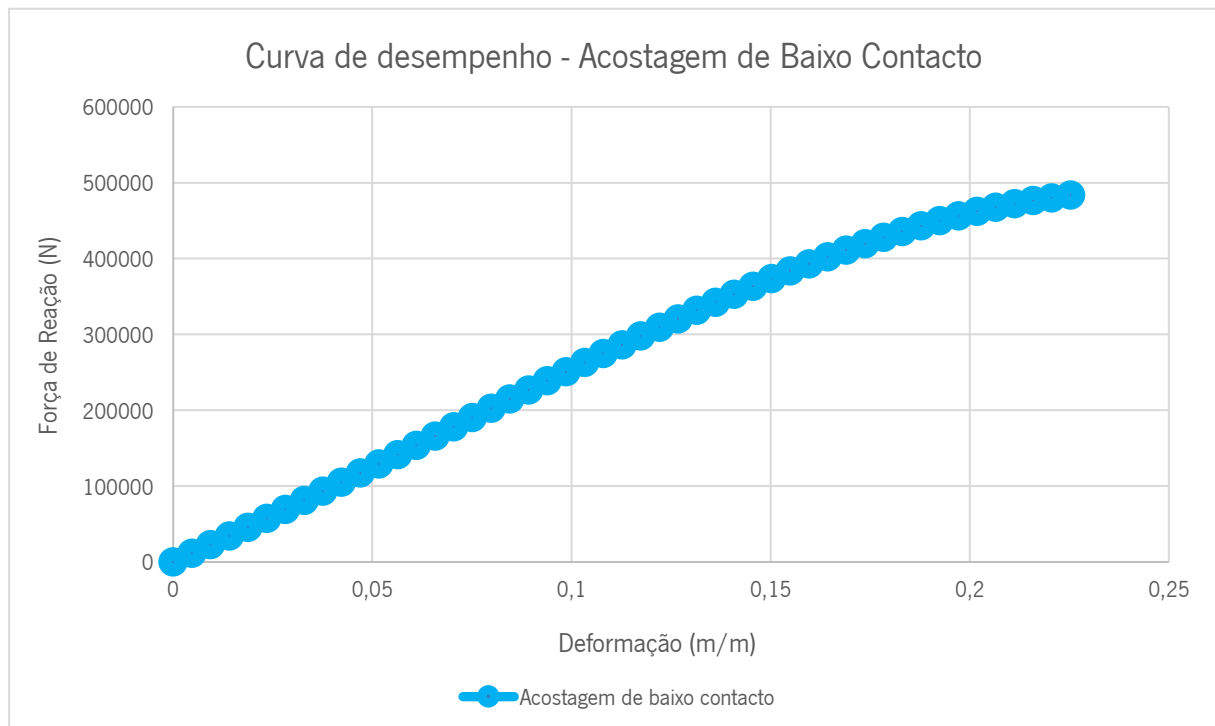


Figura 68 - Curva de desempenho da estrutura para o caso de carga 2.

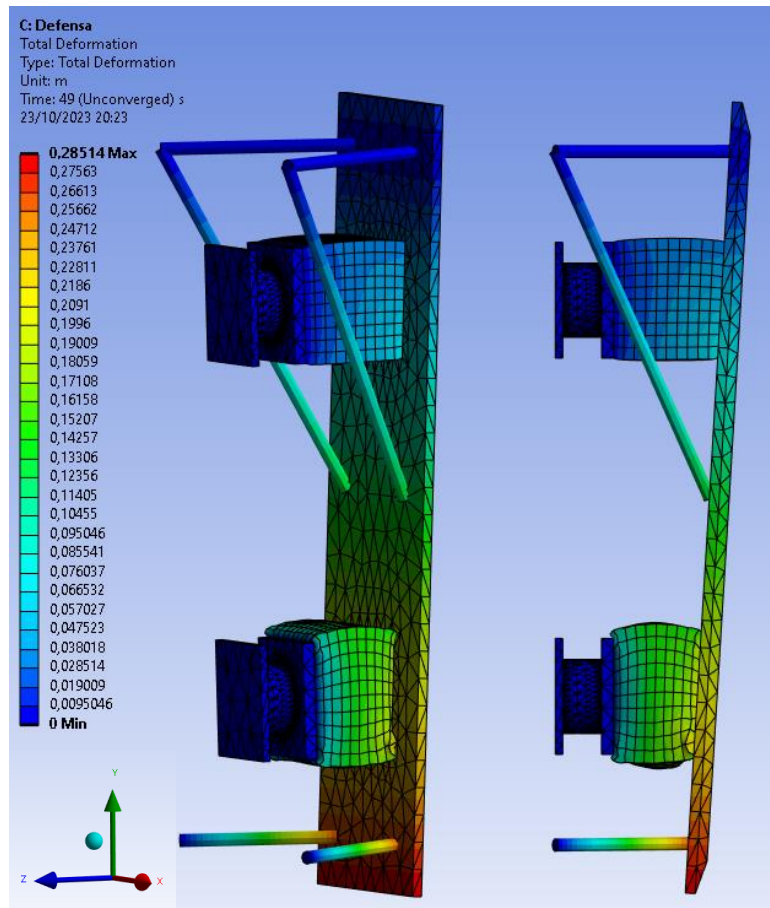


Figura 69 - Deformação da estrutura para o caso de carga 2.

Caso de carga 3: Acostagem horizontal

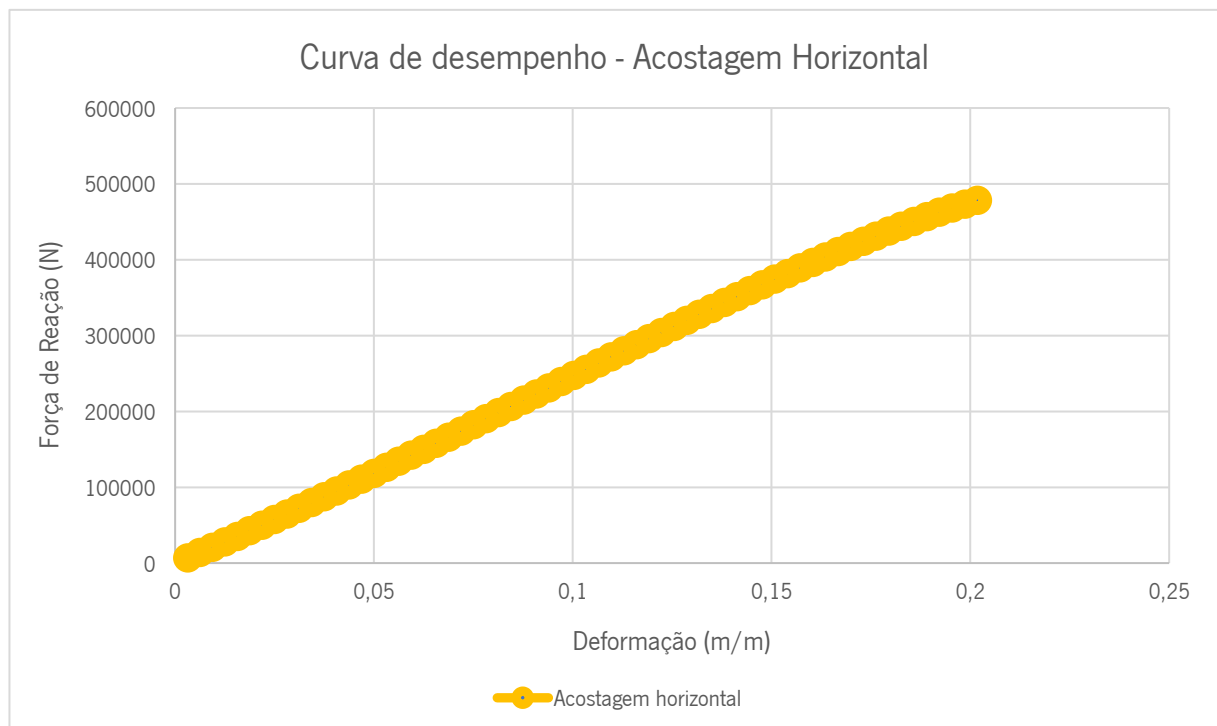


Figura 70 - Curva de desempenho da estrutura para o caso de carga 3.

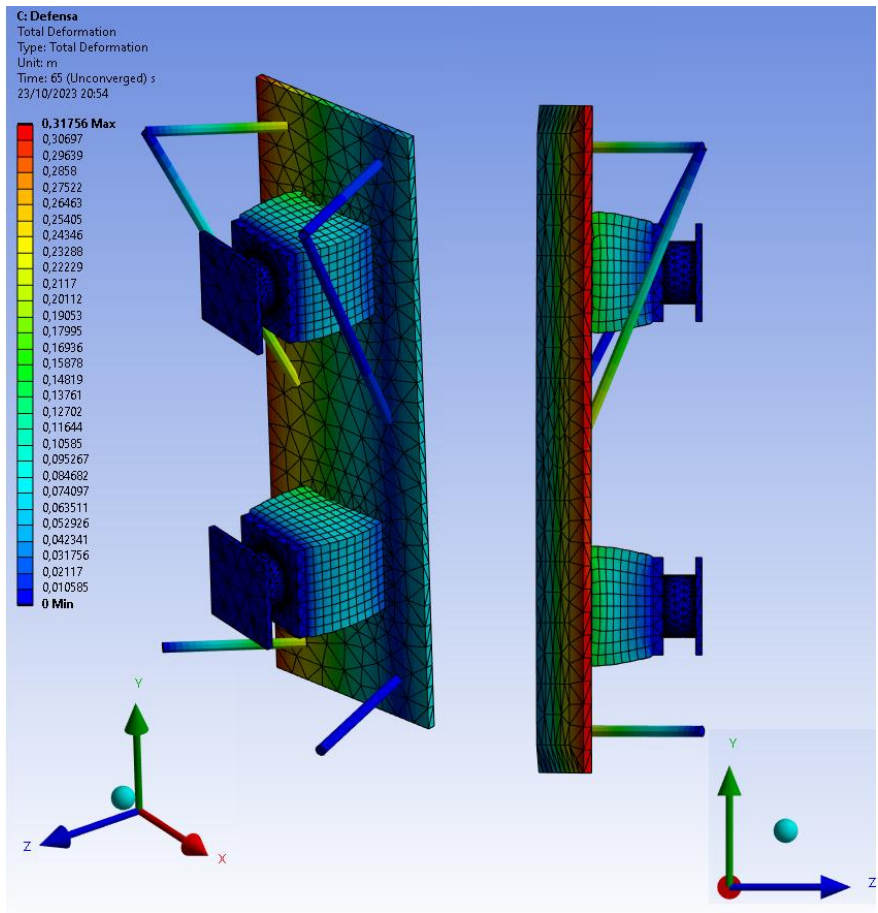


Figura 71 - Deformação da estrutura para o caso de carga 3.

Caso de carga 4: Acostagem com rotação do navio

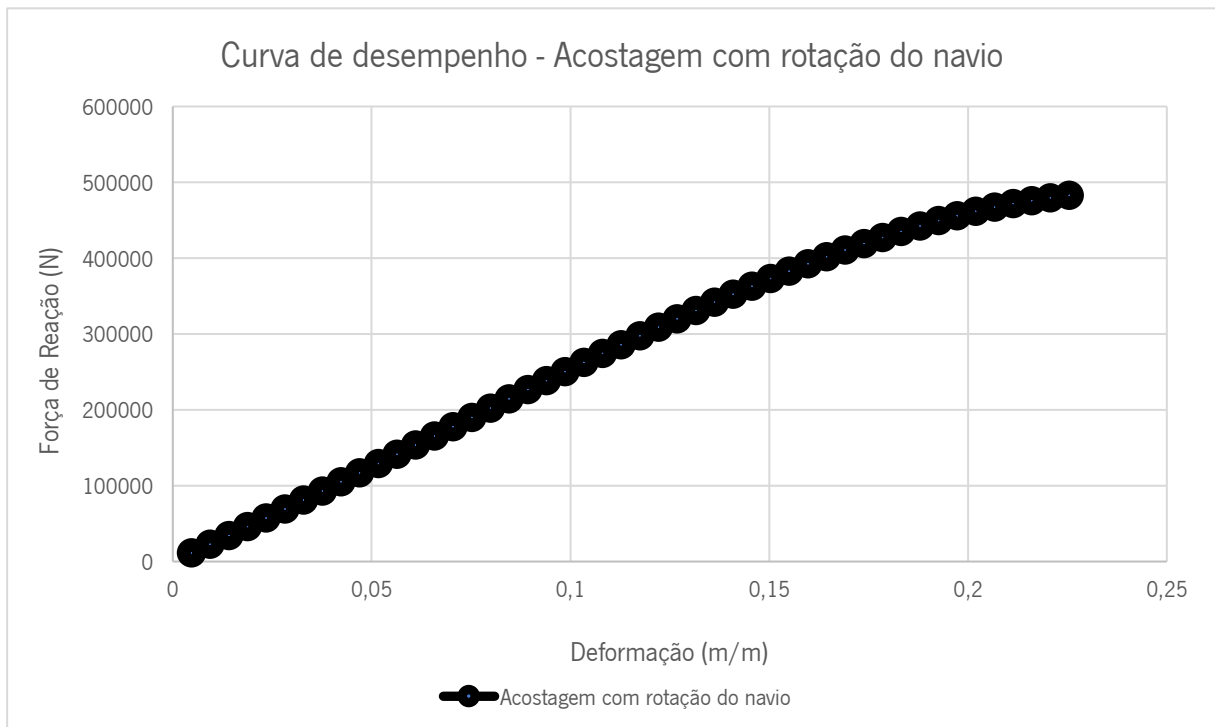


Figura 72 - Curva de desempenho da estrutura para o caso de carga 4.

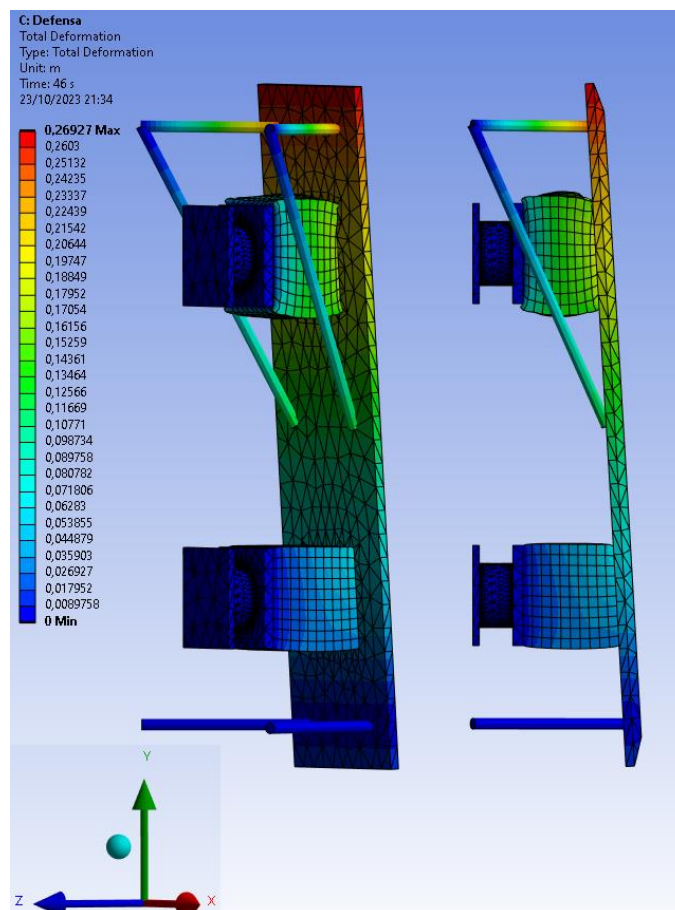


Figura 73 - Deformação da estrutura para o caso de carga 4.

4.4. Análise de resultados

Primeiramente, um dos objetivos deste trabalho passava pelo desenvolvimento de um modelo numérico capaz de simular o comportamento estrutural da defesa marítima utilizada na Doca 4 Norte do Porto de Leixões. Como mencionado anteriormente, esse objetivo foi concluído com sucesso para um determinado intervalo de deformação da estrutura. Este facto é comprovado pela análise da figura 66. As deformações estruturais obtidas a partir do modelo numérico, representadas nas figuras 69,71 e 73, possibilitam estabelecer uma relação entre a deformação expectável na estrutura real, com a deformação obtida no modelo, auxiliando na validação do mesmo.

A análise das diferentes curvas de desempenho revela uma redução na capacidade de absorção de energia por parte do sistema de defensas, quando submetido a condições de acostagem capazes de originar uma distribuição de carga assimétrica para os apoios desta estrutura. A figura 75 apresenta a comparação entre a curva de desempenho originada pelo caso de carga caracterizado pelo contacto total no painel frontal, e as curvas de desempenho representativas dos restantes casos de carga.

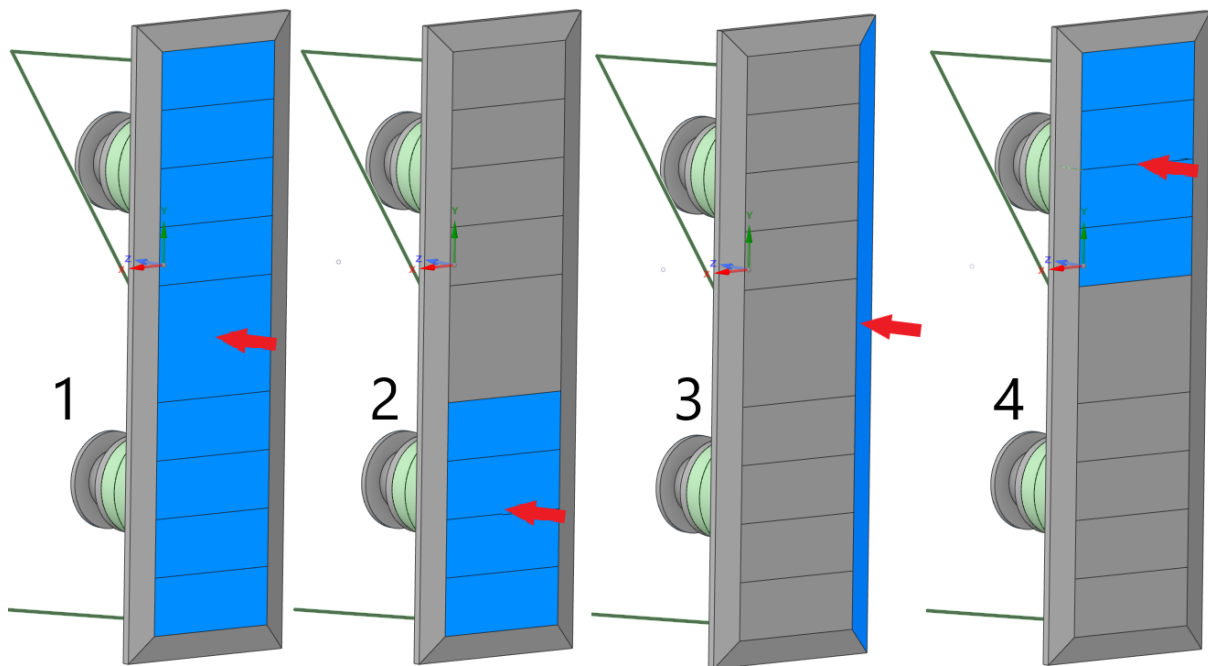


Figura 74 - Casos de carga. (1) Acostagem de contacto total; (2) Acostagem de baixo contacto; (3) Acostagem horizontal; (4) Acostagem com rotação do navio.

As condições de acostagem de baixo contato e com rotação do navio, correspondentes aos casos de carga 2 e 4 respetivamente, originam uma diminuição na rigidez do sistema de defensas devido à concentração de esforços em apenas um dos módulos de borracha. Ao comparar as curvas de desempenho destes casos de carga com a curva correspondente ao caso de carga 1, é evidente que o mesmo nível de deformação é atingido para forças de reação significativamente inferiores. Algo expectável tendo em consideração que a deformação da estrutura está concentrada quase exclusivamente num único elemento de borracha.

Na condição de acostagem horizontal, correspondente ao caso de carga 3, existe uma repartição uniforme de esforços entre ambos os módulos de borracha. No entanto, tendo em consideração apenas um destes elementos, observa-se uma deformação assimétrica do mesmo, originada pela descentralização da carga aplicada. A redução da capacidade de absorção do sistema de defensas, quando submetido a este tipo de acostagem, deve-se a esta mesma descentralização, capaz de provocar deformações elevadas em áreas específicas dos módulos de borracha. Consequentemente, a resistência máxima destes elementos é alcançada para forças de reação significativamente inferiores ao que seria expectável.

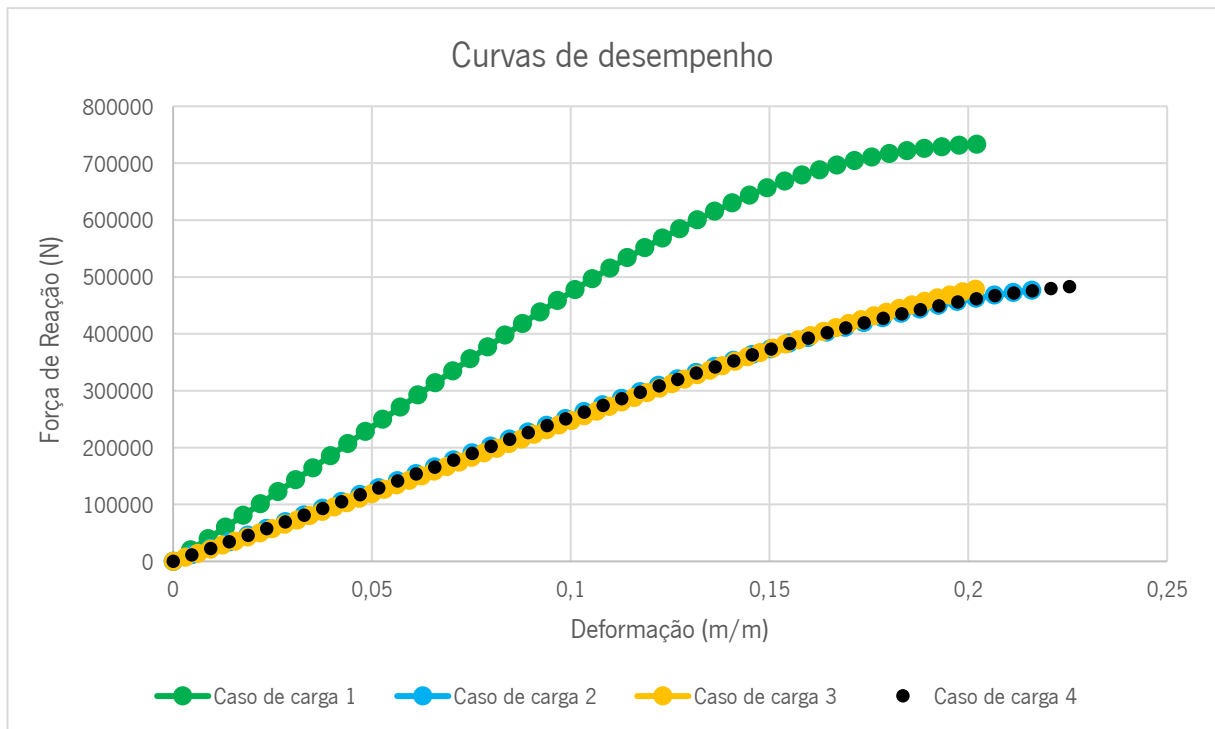


Figura 75 – Curvas de desempenho dos diferentes casos de carga.

No que diz respeito ao desempenho das correntes utilizadas no sistema de defensas, a sua contribuição para a resistência desta estrutura depende unicamente da condição de acostagem à qual a mesma é submetida. Estes elementos são apenas solicitados por esforços de tração, presentes nos casos de carga 2,3 e 4, devido à excentricidade da carga aplicada. A figura 69 apresenta a deformação estrutural característica do caso de carga 2, onde é perceptível a contribuição das correntes superiores, uma vez que estas não apresentam quaisquer sinais de deformação quando tracionadas. Por outro lado, as correntes inferiores, sujeitas unicamente a esforços de compressão, acompanham a deformação da zona inferior da estrutura, sem evidenciar qualquer contributo para a rigidez do sistema.

Relativamente ao sistema de monitorização das defensas marítimas, esta dissertação serve de base para o seu desenvolvimento. Antes de mais, o conhecimento da tipologia de defesa implementada e da distância entre o painel frontal da mesma ao cais, auxilia na seleção dos sensores de proximidade ultrassónicos, responsáveis pela aquisição de dados do sistema de monitorização.

Nesta situação em particular, a distância entre o painel frontal e o cais, antes da estrutura experimentar qualquer tipo de deformação, é de 1,5 m, especificando desta forma qual o alcance mínimo necessário por parte do sensor implementado. A defesa SPC 800 G2.7, apresenta um comprimento total dos módulos de borracha constituintes do sistema, de 702,92 mm. A rotura destes elementos ocorre quando atingida 70% de deformação dos mesmos, o que corresponde a cerca de 0,4920 m.

Comparando este valor com a resolução de funcionamento da maioria dos sensores de proximidade ultrassônicos (0,003 m/m), é perceptível a capacidade por parte destes sensores em determinar oscilações de deformação suficientemente precisas para a previsão de uma eventual rotura do sistema.

A contribuição do sistema de monitorização para a previsão da rotura do sistema de defensas depende em grande parte do posicionamento dos sensores implementados. É essencial que as deformações determinadas pelos sensores correspondam com precisão às deformações experimentadas pelos elementos de borracha. Além disso, o correto posicionamento dos sensores, em conjunto com o cálculo apresentado na secção 4.3.3., permite identificar as diversas condições de acostagem e determinar a redução na capacidade de absorção de energia do sistema.

Desta forma, a figura 76, apresenta uma possível configuração dos sensores de proximidade ultrassônicos (representados a vermelho), constituintes do sistema de monitorização. Considerando que o painel frontal do sistema de defensas não se deforma, é notável que a quantidade de sensores de proximidade ultrassônicos representados na figura é excessiva. Apenas são necessários 3 sensores para conhecer a deformação de qualquer ponto coordenado localizado no painel frontal do sistema, tendo em consideração que este é plano. Por outro lado, a utilização de uma maior quantidade de sensores permite redundância de resultados, aumentando desta forma o rigor das medições efetuadas, precavendo a existência de eventuais incertezas ou erros.

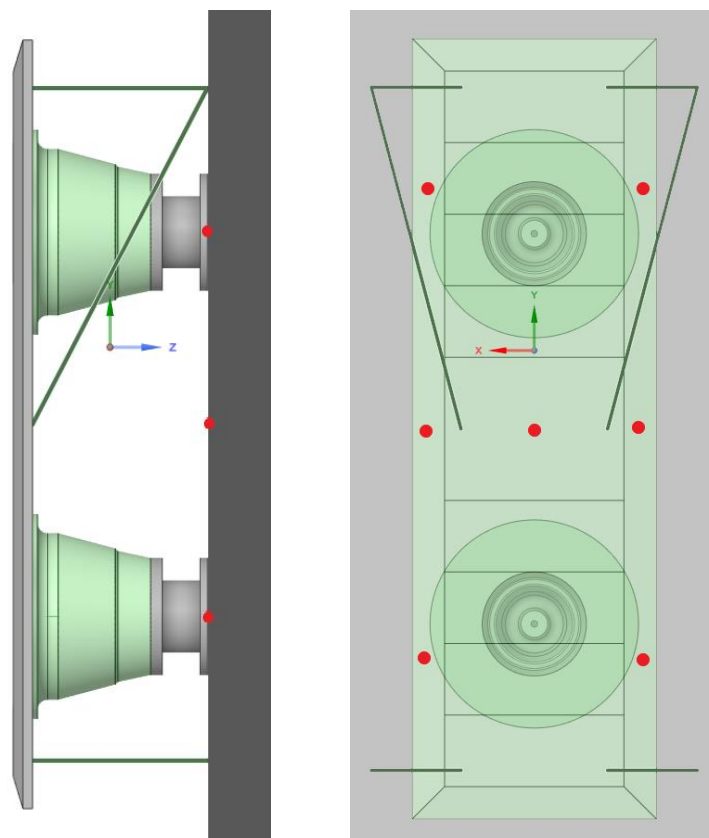


Figura 76 - Possibilidade de posicionamento dos sensores de proximidade ultrassônicos.

4.5. Sensorização do sistema de defesas marítimas com recurso a ultrassons

O funcionamento dos sensores de proximidade ultrassônicos baseia-se na transmissão de ondas sonoras e posterior receção das mesmas após reflexão (Hauptmann et al. 2002). Transdutores ultrassônicos são os responsáveis pela libertação da onda emitida, sendo estes capazes de transformar sinais elétricos em ondas ultrassónicas, e vice-versa. O meio de propagação, e objetos intercetados ao longo do percurso, resultam em modificações nos parâmetros da onda (Mágori, 1994).

Existem diferentes tipos de sensores ultrassónicos, entre os quais: i) sensores de proximidade, utilizados como detetores de presença e cálculo de distâncias, e ii) sensores de propagação, capazes de detetar alterações ao longo da propagação da onda emitida, tais como variações de temperatura e pressão (Mágori, 1994).

Sensores de proximidade ultrassónicos utilizam o tempo percorrido pela onda e a sua amplitude aquando da receção da mesma, de forma a identificar o tipo de objeto que as refletiu, bem como a distância a que este se encontra do sensor (Mágori, 1994).

Fatores como temperatura, material refletor e meio de propagação da onda sonora, alteram a sua velocidade, provocando divergências nos resultados obtidos (Hauptmann et al. 2002).

A estes sensores estão associadas as seguintes vantagens: sensibilidade direcional, alta resolução estrutural, sensibilidade para deteção dos mais diversos objetos, resistência à humidade, contaminação e desgaste e consumo baixo de energia (Mágori, 1994).



Figura 77 - Sensor de proximidade ultrassónico (Botnroll, 2023).

4.6.1. Princípio de funcionamento

Conhecida a velocidade de propagação do som no ar (343 m/s), e o intervalo de tempo correspondente entre a emissão e respetiva receção da onda sonora, é possível calcular através da seguinte expressão, a distância a que a defesa se encontra do cais.

$$c = \lambda f = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

Figura 78 - Expressão de cálculo da velocidade de propagação do som (Hauptmann et al. 2002).

Onde “c” representa a velocidade de propagação do som, Δx a distância percorrida pela onda sonora, e Δt o intervalo de tempo entre a emissão e receção da mesma. Uma vez que é quantificado o tempo de viagem entre o sensor e o objeto refletor e, por sua vez, o tempo que o sinal demora, após reflexão, a atingir de volta o sensor, a distância que se pretende obter corresponde a metade do valor obtido através da expressão anterior.

Os sensores de proximidade ultrassónicos, aquando da sua utilização no ar, conduzem a resultados com resolução na ordem do 0,003 m/m devido á frequência de operação das ondas

ultrassónicas. Desta forma, é possível obter resultados a variar entre meros milímetros até alguns metros de comprimento (Hauptmann et al. 2002).

4.6.2. Local de colocação

A medição da distância entre a estrutura portuária e o painel frontal da defesa, limita as opções a considerar para o local de colocação destes sensores. A escolha recai entre duas hipóteses, a colocação na zona posterior do painel frontal da defesa, ou na estrutura portuária. Considerando a proteção dos sensores e a fiabilidade de resultados obtidos como fatores prioritários, o risco inerente ao contacto do navio com a defesa descarta a possibilidade da colocação no seu painel frontal, porém a aplicação na estrutura portuária requer atenção aquando do seu posicionamento, uma vez que, os valores obtidos devem ser relativos a medições diretas (retilíneas).

O local de colocação destes sensores, possibilita o conhecimento de propriedades como o meio de propagação e respetiva velocidade do som, e a distância inicial entre estruturas e definição do objeto refletor, sendo este, neste caso, o painel frontal da defesa.

4.6.3. Precisão de resultados obtidos

Os critérios de seleção do sensor de proximidade ultrassónico a utilizar neste projeto incluem o distanciamento inicial entre a defesa e a infraestrutura portuária, sendo necessário garantir um alcance mínimo por parte do sensor de cerca de 1,5m. A rotura destas estruturas ocorre primeiramente pelos módulos de borracha, sendo o seu limite de deformação corresponde a 70% do seu comprimento (0,4920 m). A resolução de funcionamento deste sensor deve ser suficiente para detetar variações de comprimento na ordem de grandeza do valor mencionado. Quanto maior esta resolução, maior a capacidade do sensor em detetar a menor das variações no comprimento dos módulos de borracha constituintes do sistema de defensas.

Desta forma, respeitando os critérios mencionados anteriormente, é possível obter resultados de elevada precisão por parte do sistema de monitorização, uma vez que, ao contrário do que acontece com os extensómetros, a aquisição de dados por parte dos sensores de proximidade ultrassónicos não depende necessariamente da resolução de funcionamento de um conversor de sinal analógico para sinal digital (ADC), uma vez que a sua utilização não é totalmente obrigatória. A título de exemplo, em diversos casos a utilização de um ADC é substituída por um controlador de tempo ou microcontrolador, com capacidade para detetar o instante em que ocorre a emissão e a receção de um determinado pulso ultrassónico, determinando assim qual o intervalo de tempo entre ambos os acontecimentos.

Na tabela 22, são listados alguns sensores de proximidade ultrassônicos que, devido às suas especificações, atribuem ao sistema de monitorização inteligente capacidade para determinar eventuais roturas do sistema de defensas marítimas. Além disso, torna-se possível obter resultados de elevada fiabilidade, importantes para análises de redução de rendimento por parte das defensas, quando submetidas a condições de acostagem capazes de originar uma distribuição de carga assimétrica nos apoios desta estrutura.

Tabela 22 - Exemplos de modelos de sensores de proximidade ultrassônicos.

Modelo	Alcance (m)	Frequência (kHz)	Resolução (cm)	Alimentação (V)	Consumo (mA)
HC-SR04	0,02 a 5	40	0,3	5	15
HY-SRF05	0,02 a 4	40	0,3	5	2

4.6.4. Contribuição no projeto GIIP

A monitorização do sistema de defensas marítimas, com recurso a sensores de proximidade ultrassônicos, tem como objetivo evitar a rotura destas estruturas e, conseqüentemente, prevenir potenciais danos no casco do navio ou na estrutura portuária.

A monitorização por meio destes sensores permite determinar, em tempo real e com precisão, a distância entre a zona posterior do painel frontal da defesa, e a estrutura portuária. Os dados resultantes da monitorização permitem acompanhar a deformação dos módulos de borracha das defensas à medida que estes são comprimidos, devido à interação entre os navios e a estrutura.

Esta informação desempenha um papel fulcral na prevenção de possíveis roturas do sistema de defensas, uma vez que a deformação excessiva dos módulos de borracha compromete a capacidade de absorção de energia do sistema e, conseqüentemente, a segurança tanto dos navios como da infraestrutura portuária e pessoas envolvidas.

Com base no histórico de resultados obtidos, torna-se viável identificar possíveis perdas de rendimento destas estruturas, resultantes da degradação do material após submetido a vários ciclos de compressão. Esta análise garante o correto funcionamento destas estruturas e permite um planeamento mais eficaz da manutenção e substituição dos diversos componentes do sistema de defensas marítimas.

Resumidamente, a monitorização do sistema de defensas marítimas desempenha um papel fundamental na prevenção da rotura destas estruturas, contribuindo desta forma para o aumento da segurança e da eficiência associada às diferentes operações portuárias.

A Doca 4 Norte, do Porto de Leixões, encontra-se severamente deformada devido ao excesso de carga armazenada, proveniente da descarga das embarcações. Em virtude de a quantidade de carga transportada pelos navios por vezes exceder os limites estabelecidos, existe uma sobrecarga nas estruturas portuárias.

A operação de descarga origina variações no peso das embarcações, em condições ambientais relativamente constantes, existe uma diminuição progressiva na magnitude das solicitações exercidas tanto nos cabeços de amarração como nas defensas marítimas. Para além disso, o sistema de monitorização implementado na defesa ao apresentar capacidade para determinar em tempo real a distância entre o painel frontal e a estrutura portuária, possibilita o acompanhamento da movimentação do sistema de defensas ao longo do tempo, sendo desta forma facilmente determinadas acelerações que por sua vez podem ser traduzidas em cargas transmitidas à infraestrutura portuária.

Com base nestas evoluções, e recorrendo aos dados obtidos através da monitorização destas estruturas, é possível o futuro desenvolvimento de um sistema de cálculo dinâmico, capaz de determinar a carga descarregada, proporcionando um aumento da segurança e longevidade das estruturas portuárias.

Capítulo 5 – Conclusões e futuros desenvolvimentos

O trabalho desenvolvido ao longo desta dissertação teve como objetivo contribuir para a criação de sistemas de monitorização autónomos para estruturas portuárias inteligentes, nomeadamente cabeços de amarração e defensas marítimas, visando aumentar os níveis de segurança e organização nas atividades portuárias.

Relativamente ao cabeço de amarração, o sistema de monitorização idealizado inclui a implementação de 8 extensómetros no interior do tronco do cabeço de amarração, próximo da zona da estrutura onde são verificadas as tensões de maior magnitude.

Este sistema de monitorização, apresentando uma resolução na ordem dos $1,45e-4$ mm/mm demonstra capacidade para determinar extensões e cargas de serviço, possibilitando assim a aquisição de informação constante, mesmo para solicitações de magnitude significativamente inferior à carga de rotura.

O desenvolvimento do modelo analítico apresentado anteriormente, possibilita criar um termo comparativo entre a informação proveniente do sistema de monitorização inteligente, e os dados de dimensionamento do cabeço de amarração. Recorrendo às extensões obtidas por parte do sistema de monitorização, comprovou-se se possível determinar a magnitude, inclinação e orientação da carga exercida nestas estruturas, possibilitando desta forma prever uma eventual rotura das mesmas.

O desenvolvimento de um modelo numérico com capacidade para simular o comportamento estrutural da defesa marítima permitiu a simulação de diferentes condições de acostagem, criação e análise das diversas curvas de desempenho. Conclui-se que a capacidade de absorção de energia do sistema de defensas é severamente afetada para condições de acostagem capazes de originar distribuições de carga assimétricas nos apoios da estrutura. Desta forma, é de extrema importância a adoção de um sistema de defensas capaz de garantir um contacto uniforme entre o painel frontal e o casco do navio.

O sistema de monitorização das defensas marítimas, permite identificar as diferentes condições de acostagem, determinar a redução na sua capacidade de absorção de energia, e ainda prever a rotura destas estruturas. Pode permitir ainda a estimativa da carga transmitida à infraestrutura, neste caso o cais.

Futuramente, espera-se que os sistemas desenvolvidos possam ser utilizados para apoiar a execução de ensaios laboratoriais, de forma a implementar protótipos do sistema de monitorização em ambas as estruturas. Deve ser verificada a integridade dos sistemas cálculo desenvolvidos, bem como validada a informação adquirida por parte dos modelos numéricos.

A determinação automática da carga exercida nos cabeços de amarração e nas defensas, em tempo real, pode representar uma primeira etapa na criação de um futuro sistema de cálculo dinâmico, capaz de determinar a carga transportada/descarregada pelos navios, através da interligação dos dados obtidos por parte da monitorização das várias estruturas.

A tabela 25, em anexo, lista alguns dos componentes necessários ao dimensionamento de ambos os sistemas de monitorização autónomos para estruturas de amarração inteligentes. A elaboração desta lista tinha como objetivo inicial a execução e implementação destes sistemas. Na impossibilidade de atingir tal etapa, espera-se contribuir por meio desta seleção de componentes, para o futuro desenvolvimento e experimentação dos sistemas mencionados.

Ambos os sistemas de monitorização inteligentes idealizados integram várias componentes para além dos sensores mencionados anteriormente (extensómetros e sensores de proximidade ultrassónicos), entre as quais:

- Conversor de sinal analógico para sinal digital (ADC): Não existe obrigatoriedade da sua implementação em ambos os sistemas de monitorização, mas quando em utilização é responsável pelo tratamento do sinal analógico proveniente dos sensores, convertendo-o em sinal digital.
- Placa de rede ZigBee: Sendo este um protocolo de comunicação sem fios, é responsável pela transmissão de dados entre as várias estruturas portuárias, e respetivos dispositivos de leitura. De referir que, através da comunicação ZigBee é possível conectar cada uma das estruturas portuárias entre si, uma vez que estas serão equipadas tanto com um emissor como um recetor de dados.
- Dispositivos de leitura: Microcontroladores e computadores, responsáveis pelo processamento do sinal digital, pelo armazenamento de dados e transmissão dos mesmos ao utilizador.
- Componentes energéticos: Pretende-se que ambos os sistemas de monitorização sejam autónomos, sendo assim necessária a utilização de componentes energéticas,

responsáveis por alimentar todos as componentes do sistema de aquisição, tais como:
i) baterias, ii) painéis solares e iii) gestores de carga.

A implementação de vários destes sistemas de monitorização inteligentes, nas diversas estruturas portuárias, permite comunicar e transmitir dados entre si, possibilitando adquirir informação útil para a organização das atividades portuárias e para o melhoramento da segurança.

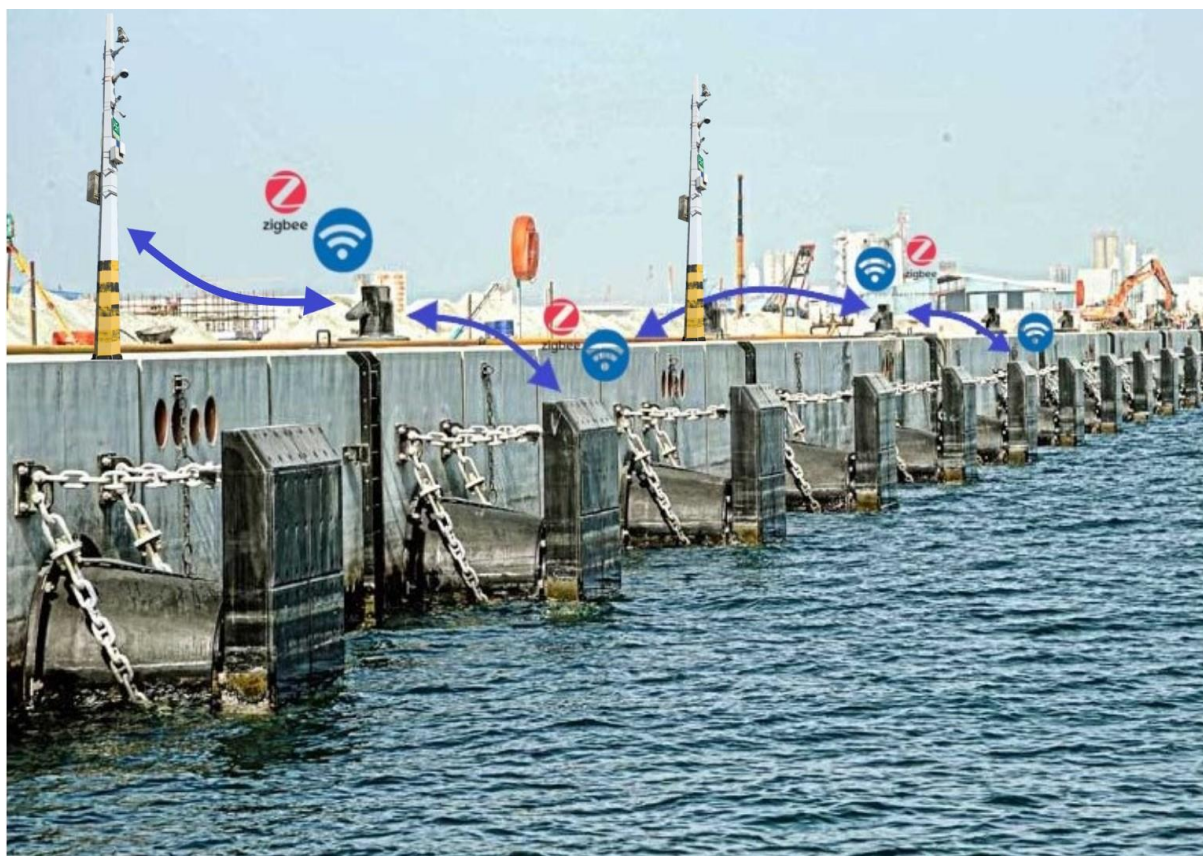


Figura 79 – Comunicação e transmissão de dados entre as diversas estruturas existentes na infraestrutura portuária (Construction Week, 2011).

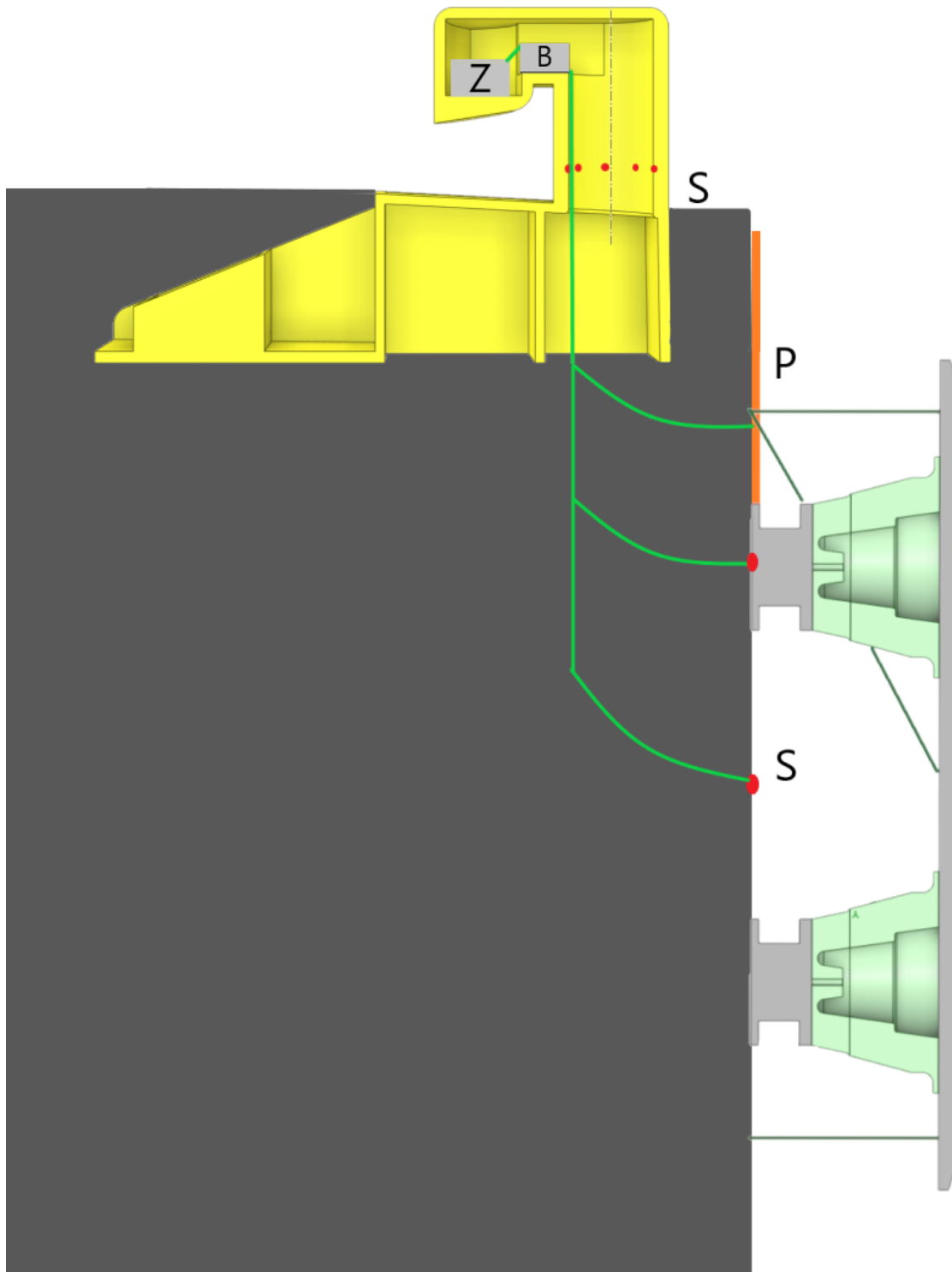


Figura 80 – Idealização dos sistemas de monitorização autónomos para estruturas portuárias inteligentes. Componentes: Z – Placa de rede ZigBee e dispositivos de conversão de sinal; B – Baterias; S – Sensores; P – Painel Solar.

Referências bibliográficas

- Administração dos Portos do Douro e Leixões, S.A. (2008). Fornecimento e Montagem de 26 Defensas Fixas na Doca 4 Norte.
- Amador Júnior, W. J. (2006). Projeto do pier de um terminal de contêineres: estudo de caso.
- Andolfato, R. P., Camacho, J. S., & Brito, G. D. (2004). Extensometria básica. In Ilha.
- Associação dos Portos de Portugal, (2023). Porto de Leixões.
<<https://www.portosdeportugal.pt/app/portos/leixoes.php>>
- Berg, H.P., (2013). Human factors and safety culture in maritime safety. *Int. J Mar. Navigat. Saf. Sea Transp.* 7 (3) <<http://www.transnav.eu>>.
- Bin, L., Rondeau, T. W., Reed, J. H., & Bostian, C. W. (2005). Analog-to-digital converters. In *IEEE Signal Processing Magazine* (Vol. 22, Issue 6, pp. 69–77). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/MSP.2005.1550190>
- Botnroll, (2023). HC-SR04-Ultrasons. <<https://www.botnroll.com/pt/sonares/756-sensor-de-distancia-por-ultrasons-.html>>
- Bragança, L., Koukkari H., Landolfo R., Ungureanu V., Vesikari E., & Hechler O. (2011). Integrated Approach to Life-Time Structural Engineering - Summary Report of the Cooperative Activities of COST Action C25 (vol. 2). In University of Malta, ISBN: 978-99957-816-2-0.
- Brauer, S. A., Whittington, W. R., Johnson, K. L., Li, B., Rhee, H., Allison, P. G., Crane, C. K., & Horstemeyer, M. F. (2017). Strain Rate and Stress-State Dependence of Gray Cast Iron. In *Journal of Engineering Materials and Technology, Transactions of the ASME*, 139(2).
<https://doi.org/10.1115/1.4035616>
- Broos, E. J., Hoebee, W., van Scherpenzeel, B. R. J., Burgers, J. J., Schweter, L., & van Deyzen, A. (2018). Bollard loads on new port infrastructure, port of Rotterdam authority policy. In *Proceedings of the 34th PIANC World Congress*.
- Cho, S. R., Choung, J., Oh, C. M., Lee, K. S., & Kim, J. Y. (2010). Ultimate load capacities of mooring bollards and hull foundation structures. *Ocean Engineering*, 37(8–9), 770–776.
<https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2010.02.011>
- Coelho, J. (2004). Sensores e actuadores. In Instituto Politécnico de Bragança.
- COMIN, C., & SOUZA, R. M. de. (2017). Port structures - the distribution of forces on infrastructure due to mooring and berthing of vessels. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, 10(3), 626–638.
<https://doi.org/10.1590/s1983-41952017000300005>

- Construction Week, (2011). Precast blockwork on show at Bahrain quay wall.
<<https://www.constructionweekonline.com/business/article-14953-precast-blockwork-on-show-at-bahrain-quay-wall>>
- Copaboinfra, (2023). Ganchos de amarração e desengate rápido.
<<https://copaboinfra.com.br/produtos/ganchos-de-amarracao-e-desengate-rapido/>>
- Corrigan, S., Kay, A., Ryan, M., Brazil, B., & Ward, M. E. (2020). Human factors & safety culture: Challenges & opportunities for the port environment. *Safety Science*, 125.
<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.02.030>
- Dally, J. W., Riley, W. F., & McConnell, K. G. (1993). *Instrumentation for Engineering Measurements*, John Willey & Sons. Inc., New York, USA.
- Darbra, R.M., Crawford, J.F.E., Haley, C.W., Morrison, R.J., (2006). Safety culture and hazard risk perception of Australian and New Zealand maritime pilots. Presented at the Asia-Pacific Pilotage Conference 2006, Tuesday 14th–Friday 17th March 2006, Sydney, Australia.
- Dias, P. M. M. (2009). Soluções técnicas para o rebaixamento dos fundos de cais acostáveis: caso de estudo do porto de Leixões.
- Elliott, R. (1988). *Cast Iron Technology*. In Butterworth-Heinemann, ISBN 978-1483176499
- Esc Marine Systems. (2022). *MOORING BOLLARDS TO THE GLOBAL MARKET ESC MOORING BOLLARDS CATALOGUE 2022 EDITION*.
- Ferreira Queiróz, M. D. F., & Areosa, J. (2018). Segurança e acidentes no trabalho portuário: A percepção dos estivadores portugueses. In H. Veloso Neto, & J. Areosa (Eds.), *Segurança ocupacional em transportes: Abordagens e sistemas de segurança nas áreas rodoviária, ferroviária, aeroportuária e naval* (pp. 278-299). Civeri Publishing.
- Gao, F., Hu, K., Shen, W. J., & Li, Y. (2021). Study on the safety guarantee of ship mooring from frequent cable accidents. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 621(1).
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/621/1/012007>
- Global Risk Reports, (2016). *Insight Report*, 11th ed.
<<http://www3.weforum.org/docs/Media/TheGlobalRisksReport2016.pdf>>.
- Hauptmann, P., Hoppe, N., & Püttmer, A. (2002). Application of ultrasonic sensors in the process industry. In *Measurement Science and Technology*, 13(8), R73. <https://doi.org/10.1088/0957-0233/13/8/201>
- International Maritime Organisation, (2006). *MSC-MEPC.7/Circ.3 – Framework for Consideration of Ergonomics and Work Environment* London, IMO, 22nd May 2006.
- International Shipping Federation, *Safety culture is enlightened self-interest*, ISF, (2011).

- Jha, A., Subedi, D., Lovsland, P. O., Tyapin, I., Reddy Cenkeramaddi, L., Lozano, B., & Hovland, G. (2020). Autonomous Mooring towards Autonomous Maritime Navigation and Offshore Operations. Proceedings of the 15th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, ICIEA 2020, 1171–1175. <https://doi.org/10.1109/ICIEA48937.2020.9248169>
- Leal, M., Pinto, F., & Salvi, L. (2011). DIMENSIONAMENTO DE DEFENSAS MARÍTIMAS. <http://www.fe.up.pt>
- Lotti, R. S., Machado, A. W., Mazzeiro, Ê. T., & Landre Júnior, J. (2006). Aplicabilidade científica do método dos elementos finitos. Revista Dental Press de Ortodontia e Ortopedia Facial, 11, 35-43.
- Magori, V. (1994). Ultrasonic sensors in air. In Proceedings of the IEEE Ultrasonics Symposium, 1, 471–481. <https://doi.org/10.1109/ultsym.1994.401632>
- Marino, M., Cavallaro, L., Castro, E., Musumeci, R. E., Martignoni, M., Roman, F., & Foti, E. (2023). New frontiers in the risk assessment of ship collision. In Ocean Engineering (Vol. 274). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.113999>
- Natarajan, R., & Ganapathy, C. (1995). Analysis of moorings of a berthed ship. In Marine structures, 8(5), 481-499. [https://doi.org/10.1016/0951-8339\(95\)97305-R](https://doi.org/10.1016/0951-8339(95)97305-R)
- Olhar digital, (2022). Porto de Xangai trava e economia global deve sofrer consequências negativas. <<https://olhardigital.com.br/2022/04/25/coronavirus/porto-de-xangai-trava-e-economia-global-deve-sofrer-impactos-negativos/>>
- PIANC, (1995). Criteria for Movements of Moored Ships in Harbours, a Practical Guide. Report of the WG24 of the Permanent Technical Committee II, Supplement to Bulletin N°88, PIANC, International Navigation Association, Brussels, Belgium, 35p. ISBN:2-87223-070-X.
- Santos, P. (2010). Análise da Interacção de Navios com Dispositivos de Acostagem e Amarração. Estudo em Modelo Físico do Posto" A" do Terminal de Petroleiros do Porto de Leixões.
- Santos, V. (2021). Amarração de Navios - Conhecimento Básico I. <<https://www.linkedin.com/pulse/amarra%C3%A7%C3%A3o-de-navios-conhecimento-b%C3%A1sico-i-vitor-santos/?originalSubdomain=pt>>
- Sarma, P., Singh, H. K., & Bezboruah, T. (2018). A Real-Time Data Acquisition System for Monitoring Sensor Data. International Journal of Computer Sciences and Engineering, 6(6), 539–542. <https://doi.org/10.26438/ijcse/v6i6.539542>
- Schelfn, T. E., & Østergaard, C. (1995). The vessel in port: Mooring problems. Marine structures, 8(5), 451-479. [https://doi.org/10.1016/0951-8339\(95\)97304-Q](https://doi.org/10.1016/0951-8339(95)97304-Q)
- ShibataFenderTeam (2015). SFT Product Catalogue. In FenderTeam AG. <<https://www.shibata-fender.team/en/downloads.html>>

- Silva, M., Rosa-santos, P., Taveira-pinto, F., & Lopes, H. (2012). AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES OPERACIONAIS EM TERMINAIS DE CONTENTORES: CASO DE ESTUDO DO PORTO DE LEIXÕES
Evaluation of the Operational Conditions at Container Terminals: Application to the Port of Leixões, Portugal.
- Sohoni, V., Vidyapeeth, B., Kudale, A., & Kulkarni, S. (2016). Mooring System for Very Large Ships at Berth International Journal of Current Engineering and Technology Mooring System for Very Large Ships at Berth. In Article in International Journal of Current Engineering and Technology (Vol. 6, Issue 4). <http://inpressco.com/category/ijcet>
- Stolarski, T., Nakasone, Y., & Yoshimoto, S. (2006). Engineering Analysis With ANSYS Software. In Butterworth-Heinemann, ISBN: 9780080469690
- Sunhelm, (2023). Os tipos de defensas marinhas mais comumente usados na indústria marítima. <<https://www.sunhelmmarine.com/pt/most-commonly-used-marine-fender/>>
- TDG, (2023). Strain Gauges. <<https://tdg.com.tr/en/products/accelerometers—tiltmeters—sensors/analog-sensors/strain-gauges>>
- Thompson, M. K., & Thompson, J. M. (2017). ANSYS mechanical APDL for finite element analysis. In Butterworth-Heinemann.
- Thoresen, C. A. (2003). Port designer's handbook : Recommendations and guidelines. London, UK: Thomas Telford.
- Trelleborg, (2023). Bollards. <<https://www.trelleborg.com/en/marine-and-infrastructure/products-solutions-and-services/marine/docking-and-mooring/bollards>>
- Xiong Zhijian. (2009) VLCC Mooring Risk Analysis and Pre-control Countermeasures. Logistics Engineering and Management., 31(6):132-134.
- Yu Yang. (2001) Analysis of mooring Tension of ship. Journal of Dalian Maritime University. , (3):19-20.

Anexo – Resultados adicionais

1) Modelo numérico - Cabeço de amarração

Tabela 23 - Solicitações aplicadas no cabeço de amarração, aquando da análise numérica.

Solicitação	Força (N)	Orientação horizontal (°)	Inclinação Vertical (°)	Força segundo eixo X (N)	Força segundo eixo Y (N)	Força segundo eixo Z (N)
1	882900	0	0	882900	0	0
2		15	0	852816	0	-228511
3		30	0	764614	0	-441450
4		45	0	624305	0	-624305
5		60	0	441450	0	-764616
6		75	0	228511	0	-852816
7		90	0	0	0	-882900
8		105	0	-228511	0	-852816
9		120	0	-441450	0	-764614
10		135	0	-624305	0	-624305
11		150	0	-764614	0	-441450
12		165	0	-852816	0	-228511
13		180	0	-882900	0	0
14		0	15	852816	228511	0
15		15	15	823757	228511	-220725
16		30	15	738560	228511	-426408
17		45	15	603032	228511	-603032
18		60	15	426408	228511	-738560
19		75	15	220725	228511	-823757
20		90	15	0	228511	-852816
21		105	15	-220725	228511	-823757
22		120	15	-426408	228511	-738560
23		135	15	-603032	228511	-603032
24		150	15	-738560	228511	-426408
25		165	15	-823757	228511	-220725
26		180	15	-852816	228511	0
27		0	30	764614	441450	0
28		15	30	738560	441450	-197897
29		30	30	662175	441450	-382307
30		45	30	540664	441450	-540664
31		60	30	382307	441450	-662175
32		75	30	197897	441450	-738560
33		90	30	0	441450	-764614
34		105	30	-197897	441450	-738560
35		120	30	-382307	441450	-662175
36		135	30	-540664	441450	-540664
37		150	30	-662175	441450	-382307
38		165	30	-738560	441450	-197897

39		180	30	-764614	441450	0
40		0	45	624305	624305	0
41		15	45	603032	624305	-164582
42		30	45	540664	624305	-312152
43		45	45	441450	624305	-441450
44		60	45	312152	624305	-540664
45		75	45	161582	624305	-603032
46		90	45	0	624305	-624305
47		105	45	-161582	624305	-603032
48		120	45	-312152	624305	-540664
49		135	45	-441450	624305	-441450
50		150	45	-540664	624305	-312152
51		165	45	-603032	624305	-161582
52		180	45	-624305	624305	0
53		0	60	441450	764614	0
54		15	60	426408	764614	-114256
55		30	60	382307	764614	-220725
56		45	60	312152	764614	-312152
57		60	60	220725	764614	-382307
58		75	60	114256	764614	-426408
59		90	60	0	764614	-441450
60		105	60	-114256	764614	-426408
61		120	60	-220725	764614	-382307
62		135	60	-312152	764614	-312152
63		150	60	-382307	764614	-220725
64		165	60	-426408	764614	-114256
65		180	60	-441450	764614	0
66		0	75	228511	852816	0
67		15	75	220725	852816	-59143
68		30	75	197897	852816	-114256
69		45	75	161582	852816	-161582
70		60	75	114256	852816	-197897
71		75	75	59143	852816	-220725
72		90	75	0	852816	-228511
73		105	75	-59143	852816	-220725
74		120	75	-114256	852816	-197897
75		135	75	-161582	852816	-161582
76		150	75	-197897	852816	-114256
77		165	75	-220725	852816	-59143
78		180	75	-228511	852816	0

Tabela 24 - Resultados das diversas solicitações

Solicitação	1	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	895,48
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	5,96E-05
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	-1,56E-04
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	3,59E-05
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	4,44E-05
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	-2,85E-05
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	3,78E-05
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	-1,30E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	5,58E-05
Extensão - Ponto 3 - Z Axis		mm/mm	-2,08E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis		mm/mm	-6,47E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis		mm/mm	1,23E-04
Extensão - Ponto 4 - Z Axis		mm/mm	-4,66E-05
Extensão - Ponto 5 - X Axis		mm/mm	-1,11E-04
Extensão - Ponto 5 - Y Axis		mm/mm	2,48E-04
Extensão - Ponto 5 - Z Axis		mm/mm	8,60E-06
Extensão - Ponto 6 - X Axis		mm/mm	-8,36E-06
Extensão - Ponto 6 - Y Axis		mm/mm	1,62E-04
Extensão - Ponto 6 - Z Axis		mm/mm	1,92E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis		mm/mm	-1,32E-05
Extensão - Ponto 7 - Y Axis		mm/mm	-5,66E-05
Extensão - Ponto 7 - Z Axis		mm/mm	2,98E-05
Extensão - Ponto 8 - X Axis		mm/mm	-1,01E-07
Extensão - Ponto 8 - Y Axis		mm/mm	-2,00E-04
Extensão - Ponto 8 - Z Axis		mm/mm	7,68E-06

Solicitação	2	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	899,27
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	7,56E-05
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	-2,31E-04
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	6,06E-05
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	4,80E-05
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	-4,43E-05
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	4,86E-05
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	-3,43E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	6,25E-05
Extensão - Ponto 3 - Z Axis		mm/mm	-1,26E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis		mm/mm	-6,52E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis		mm/mm	1,25E-04
Extensão - Ponto 4 - Z Axis		mm/mm	-5,40E-05

Extensão - Ponto 5 - X Axis	mm/mm	-1,13E-04
Extensão - Ponto 5 - Y Axis	mm/mm	2,63E-04
Extensão - Ponto 5 - Z Axis	mm/mm	5,33E-07
Extensão - Ponto 6 - X Axis	mm/mm	5,25E-07
Extensão - Ponto 6 - Y Axis	mm/mm	1,66E-04
Extensão - Ponto 6 - Z Axis	mm/mm	2,78E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis	mm/mm	-1,61E-05
Extensão - Ponto 7 - Y Axis	mm/mm	-6,31E-05
Extensão - Ponto 7 - Z Axis	mm/mm	3,22E-05
Extensão - Ponto 8 - X Axis	mm/mm	-7,44E-06
Extensão - Ponto 8 - Y Axis	mm/mm	-2,28E-04
Extensão - Ponto 8 - Z Axis	mm/mm	1,02E-05

Solicitação	3	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	882,63
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	4,88E-05
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	-1,88E-04
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	8,30E-05
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	3,25E-05
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	5,79E-06
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	4,20E-05
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	-5,70E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	1,19E-04
Extensão - Ponto 3 - Z Axis		mm/mm	-2,70E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis		mm/mm	-6,85E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis		mm/mm	1,58E-04
Extensão - Ponto 4 - Z Axis		mm/mm	-5,08E-05
Extensão - Ponto 5 - X Axis		mm/mm	-1,22E-04
Extensão - Ponto 5 - Y Axis		mm/mm	2,55E-04
Extensão - Ponto 5 - Z Axis		mm/mm	3,17E-05
Extensão - Ponto 6 - X Axis		mm/mm	5,53E-06
Extensão - Ponto 6 - Y Axis		mm/mm	1,10E-04
Extensão - Ponto 6 - Z Axis		mm/mm	4,52E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis		mm/mm	-3,59E-05
Extensão - Ponto 7 - Y Axis		mm/mm	-1,24E-04
Extensão - Ponto 7 - Z Axis		mm/mm	6,46E-05
Extensão - Ponto 8 - X Axis		mm/mm	-2,22E-06
Extensão - Ponto 8 - Y Axis		mm/mm	-2,41E-04
Extensão - Ponto 8 - Z Axis		mm/mm	2,78E-05

Solicitação	4	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	807,13

Extensão - Ponto 1 - X Axis	mm/mm	1,86E-05
Extensão - Ponto 1 - Y Axis	mm/mm	-1,31E-04
Extensão - Ponto 1 - Z Axis	mm/mm	9,96E-05
Extensão - Ponto 2 - X Axis	mm/mm	1,48E-05
Extensão - Ponto 2 - Y Axis	mm/mm	5,55E-05
Extensão - Ponto 2 - Z Axis	mm/mm	3,25E-05
Extensão - Ponto 3 - X Axis	mm/mm	-7,59E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis	mm/mm	1,68E-04
Extensão - Ponto 3 - Z Axis	mm/mm	-3,95E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis	mm/mm	-6,71E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis	mm/mm	1,80E-04
Extensão - Ponto 4 - Z Axis	mm/mm	-4,42E-05
Extensão - Ponto 5 - X Axis	mm/mm	-1,23E-04
Extensão - Ponto 5 - Y Axis	mm/mm	2,30E-04
Extensão - Ponto 5 - Z Axis	mm/mm	6,07E-05
Extensão - Ponto 6 - X Axis	mm/mm	1,01E-05
Extensão - Ponto 6 - Y Axis	mm/mm	4,60E-05
Extensão - Ponto 6 - Z Axis	mm/mm	5,96E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis	mm/mm	-5,32E-05
Extensão - Ponto 7 - Y Axis	mm/mm	-1,76E-04
Extensão - Ponto 7 - Z Axis	mm/mm	9,25E-05
Extensão - Ponto 8 - X Axis	mm/mm	3,15E-06
Extensão - Ponto 8 - Y Axis	mm/mm	-2,38E-04
Extensão - Ponto 8 - Z Axis	mm/mm	4,34E-05

Solicitação	5	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	848,79
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	-1,28E-05
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	-6,63E-05
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	1,10E-04
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	-3,93E-06
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	1,01E-04
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	2,08E-05
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	-8,96E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	2,05E-04
Extensão - Ponto 3 - Z Axis		mm/mm	-4,94E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis		mm/mm	-6,11E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis		mm/mm	1,89E-04
Extensão - Ponto 4 - Z Axis		mm/mm	-3,46E-05
Extensão - Ponto 5 - X Axis		mm/mm	-1,15E-04
Extensão - Ponto 5 - Y Axis		mm/mm	1,89E-04
Extensão - Ponto 5 - Z Axis		mm/mm	8,56E-05
Extensão - Ponto 6 - X Axis		mm/mm	1,41E-05

Extensão - Ponto 6 - Y Axis	mm/mm	-2,10E-05
Extensão - Ponto 6 - Z Axis	mm/mm	6,99E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis	mm/mm	-6,69E-05
Extensão - Ponto 7 - Y Axis	mm/mm	-2,16E-04
Extensão - Ponto 7 - Z Axis	mm/mm	1,14E-04
Extensão - Ponto 8 - X Axis	mm/mm	8,30E-06
Extensão - Ponto 8 - Y Axis	mm/mm	-2,19E-04
Extensão - Ponto 8 - Z Axis	mm/mm	5,61E-05

Solicitação	6	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	877,29
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	-4,34E-05
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	3,29E-06
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	1,12E-04
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	-2,24E-05
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	1,40E-04
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	7,74E-06
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	-9,72E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	2,28E-04
Extensão - Ponto 3 - Z Axis		mm/mm	-5,58E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis		mm/mm	-5,09E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis		mm/mm	1,86E-04
Extensão - Ponto 4 - Z Axis		mm/mm	-2,27E-05
Extensão - Ponto 5 - X Axis		mm/mm	-1,00E-04
Extensão - Ponto 5 - Y Axis		mm/mm	1,35E-04
Extensão - Ponto 5 - Z Axis		mm/mm	1,05E-04
Extensão - Ponto 6 - X Axis		mm/mm	1,71E-05
Extensão - Ponto 6 - Y Axis		mm/mm	-8,66E-05
Extensão - Ponto 6 - Z Axis		mm/mm	7,54E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis		mm/mm	-7,60E-05
Extensão - Ponto 7 - Y Axis		mm/mm	-2,41E-04
Extensão - Ponto 7 - Z Axis		mm/mm	1,28E-04
Extensão - Ponto 8 - X Axis		mm/mm	1,29E-05
Extensão - Ponto 8 - Y Axis		mm/mm	-1,85E-04
Extensão - Ponto 8 - Z Axis		mm/mm	6,50E-05

Solicitação	7	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	868,57
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	-7,10E-05
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	7,27E-05
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	1,07E-04
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	-3,93E-05

Extensão - Ponto 2 - Y Axis	mm/mm	1,70E-04
Extensão - Ponto 2 - Z Axis	mm/mm	-5,90E-06
Extensão - Ponto 3 - X Axis	mm/mm	-9,81E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis	mm/mm	2,36E-04
Extensão - Ponto 3 - Z Axis	mm/mm	-5,85E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis	mm/mm	-3,73E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis	mm/mm	1,70E-04
Extensão - Ponto 4 - Z Axis	mm/mm	-9,15E-06
Extensão - Ponto 5 - X Axis	mm/mm	-7,78E-05
Extensão - Ponto 5 - Y Axis	mm/mm	7,17E-05
Extensão - Ponto 5 - Z Axis	mm/mm	1,17E-04
Extensão - Ponto 6 - X Axis	mm/mm	1,89E-05
Extensão - Ponto 6 - Y Axis	mm/mm	-1,46E-04
Extensão - Ponto 6 - Z Axis	mm/mm	7,58E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis	mm/mm	-8,00E-05
Extensão - Ponto 7 - Y Axis	mm/mm	-2,50E-04
Extensão - Ponto 7 - Z Axis	mm/mm	1,33E-04
Extensão - Ponto 8 - X Axis	mm/mm	1,66E-05
Extensão - Ponto 8 - Y Axis	mm/mm	-1,38E-04
Extensão - Ponto 8 - Z Axis	mm/mm	6,95E-05

Solicitação	8	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	823,92
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	-9,37E-05
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	1,37E-04
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	9,43E-05
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	-5,36E-05
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	1,88E-04
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	-1,91E-05
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	-9,24E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	2,27E-04
Extensão - Ponto 3 - Z Axis		mm/mm	-5,72E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis		mm/mm	-2,11E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis		mm/mm	1,43E-04
Extensão - Ponto 4 - Z Axis		mm/mm	4,98E-06
Extensão - Ponto 5 - X Axis		mm/mm	-5,03E-05
Extensão - Ponto 5 - Y Axis		mm/mm	3,82E-06
Extensão - Ponto 5 - Z Axis		mm/mm	1,21E-04
Extensão - Ponto 6 - X Axis		mm/mm	1,94E-05
Extensão - Ponto 6 - Y Axis		mm/mm	-1,96E-04
Extensão - Ponto 6 - Z Axis		mm/mm	7,10E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis		mm/mm	-7,85E-05
Extensão - Ponto 7 - Y Axis		mm/mm	-2,42E-04

Extensão - Ponto 7 - Z Axis	mm/mm	1,29E-04
Extensão - Ponto 8 - X Axis	mm/mm	1,92E-05
Extensão - Ponto 8 - Y Axis	mm/mm	-8,15E-05
Extensão - Ponto 8 - Z Axis	mm/mm	6,92E-05

Solicitação	9	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	822,34
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	-1,10E-04
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	1,92E-04
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	7,53E-05
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	-6,42E-05
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	1,93E-04
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	-3,11E-05
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	-8,04E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	2,03E-04
Extensão - Ponto 3 - Z Axis		mm/mm	-5,20E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis		mm/mm	-3,50E-06
Extensão - Ponto 4 - Y Axis		mm/mm	1,06E-04
Extensão - Ponto 4 - Z Axis		mm/mm	1,88E-05
Extensão - Ponto 5 - X Axis		mm/mm	-1,93E-05
Extensão - Ponto 5 - Y Axis		mm/mm	-6,44E-05
Extensão - Ponto 5 - Z Axis		mm/mm	1,16E-04
Extensão - Ponto 6 - X Axis		mm/mm	1,86E-05
Extensão - Ponto 6 - Y Axis		mm/mm	-2,32E-04
Extensão - Ponto 6 - Z Axis		mm/mm	6,14E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis		mm/mm	-7,16E-05
Extensão - Ponto 7 - Y Axis		mm/mm	-2,17E-04
Extensão - Ponto 7 - Z Axis		mm/mm	1,16E-04
Extensão - Ponto 8 - X Axis		mm/mm	2,04E-05
Extensão - Ponto 8 - Y Axis		mm/mm	-1,97E-05
Extensão - Ponto 8 - Z Axis		mm/mm	6,42E-05

Solicitação	10	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	872,96
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	-1,19E-04
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	2,34E-04
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	5,13E-05
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	-7,04E-05
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	1,85E-04
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	-4,09E-05
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	-6,29E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	1,66E-04

Extensão - Ponto 3 - Z Axis	mm/mm	-4,32E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis	mm/mm	1,43E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis	mm/mm	6,11E-05
Extensão - Ponto 4 - Z Axis	mm/mm	3,13E-05
Extensão - Ponto 5 - X Axis	mm/mm	1,29E-05
Extensão - Ponto 5 - Y Axis	mm/mm	-1,28E-04
Extensão - Ponto 5 - Z Axis	mm/mm	1,04E-04
Extensão - Ponto 6 - X Axis	mm/mm	1,65E-05
Extensão - Ponto 6 - Y Axis	mm/mm	-2,53E-04
Extensão - Ponto 6 - Z Axis	mm/mm	4,76E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis	mm/mm	-5,99E-05
Extensão - Ponto 7 - Y Axis	mm/mm	-1,78E-04
Extensão - Ponto 7 - Z Axis	mm/mm	9,58E-05
Extensão - Ponto 8 - X Axis	mm/mm	2,03E-05
Extensão - Ponto 8 - Y Axis	mm/mm	4,34E-05
Extensão - Ponto 8 - Z Axis	mm/mm	5,48E-05

Solicitação	11	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	918,19
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	-1,20E-04
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	2,60E-04
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	2,38E-05
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	-7,18E-05
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	1,64E-04
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	-4,79E-05
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	-4,11E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	1,17E-04
Extensão - Ponto 3 - Z Axis		mm/mm	-3,15E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis		mm/mm	3,12E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis		mm/mm	1,26E-05
Extensão - Ponto 4 - Z Axis		mm/mm	4,17E-05
Extensão - Ponto 5 - X Axis		mm/mm	4,43E-05
Extensão - Ponto 5 - Y Axis		mm/mm	-1,83E-04
Extensão - Ponto 5 - Z Axis		mm/mm	8,48E-05
Extensão - Ponto 6 - X Axis		mm/mm	1,33E-05
Extensão - Ponto 6 - Y Axis		mm/mm	-2,56E-04
Extensão - Ponto 6 - Z Axis		mm/mm	3,05E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis		mm/mm	-4,41E-05
Extensão - Ponto 7 - Y Axis		mm/mm	-1,27E-04
Extensão - Ponto 7 - Z Axis		mm/mm	6,86E-05
Extensão - Ponto 8 - X Axis		mm/mm	1,88E-05
Extensão - Ponto 8 - Y Axis		mm/mm	1,04E-04
Extensão - Ponto 8 - Z Axis		mm/mm	4,17E-05

Solicitação	12	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	956,53
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	-1,12E-04
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	2,68E-04
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	-5,38E-06
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	-6,84E-05
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	1,32E-04
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	-5,17E-05
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	-1,65E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	5,96E-05
Extensão - Ponto 3 - Z Axis		mm/mm	-1,77E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis		mm/mm	4,59E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis		mm/mm	-3,69E-05
Extensão - Ponto 4 - Z Axis		mm/mm	4,92E-05
Extensão - Ponto 5 - X Axis		mm/mm	7,26E-05
Extensão - Ponto 5 - Y Axis		mm/mm	-2,26E-04
Extensão - Ponto 5 - Z Axis		mm/mm	5,98E-05
Extensão - Ponto 6 - X Axis		mm/mm	9,24E-06
Extensão - Ponto 6 - Y Axis		mm/mm	-2,42E-04
Extensão - Ponto 6 - Z Axis		mm/mm	1,14E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis		mm/mm	-2,53E-05
Extensão - Ponto 7 - Y Axis		mm/mm	-6,64E-05
Extensão - Ponto 7 - Z Axis		mm/mm	3,67E-05
Extensão - Ponto 8 - X Axis		mm/mm	1,60E-05
Extensão - Ponto 8 - Y Axis		mm/mm	1,57E-04
Extensão - Ponto 8 - Z Axis		mm/mm	2,58E-05

Solicitação	13	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	860,78
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	-8,01E-05
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	1,80E-04
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	-8,60E-06
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	-5,71E-05
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	7,50E-05
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	-4,14E-05
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	-2,74E-06
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	4,58E-07
Extensão - Ponto 3 - Z Axis		mm/mm	1,59E-06
Extensão - Ponto 4 - X Axis		mm/mm	5,66E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis		mm/mm	-8,26E-05
Extensão - Ponto 4 - Z Axis		mm/mm	4,67E-05

Extensão - Ponto 5 - X Axis	mm/mm	9,71E-05
Extensão - Ponto 5 - Y Axis	mm/mm	-2,38E-04
Extensão - Ponto 5 - Z Axis	mm/mm	1,80E-05
Extensão - Ponto 6 - X Axis	mm/mm	1,11E-05
Extensão - Ponto 6 - Y Axis	mm/mm	-2,05E-04
Extensão - Ponto 6 - Z Axis	mm/mm	1,62E-06
Extensão - Ponto 7 - X Axis	mm/mm	-4,74E-07
Extensão - Ponto 7 - Y Axis	mm/mm	-5,27E-06
Extensão - Ponto 7 - Z Axis	mm/mm	1,32E-06
Extensão - Ponto 8 - X Axis	mm/mm	4,24E-06
Extensão - Ponto 8 - Y Axis	mm/mm	1,76E-04
Extensão - Ponto 8 - Z Axis	mm/mm	1,07E-05

Solicitação	14	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	961,47
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	7,07E-05
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	-1,56E-04
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	3,52E-06
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	5,73E-05
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	-5,88E-05
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	3,84E-05
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	1,42E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	1,69E-05
Extensão - Ponto 3 - Z Axis		mm/mm	-1,35E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis		mm/mm	-5,28E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis		mm/mm	9,42E-05
Extensão - Ponto 4 - Z Axis		mm/mm	-4,70E-05
Extensão - Ponto 5 - X Axis		mm/mm	-1,02E-04
Extensão - Ponto 5 - Y Axis		mm/mm	2,54E-04
Extensão - Ponto 5 - Z Axis		mm/mm	-2,38E-05
Extensão - Ponto 6 - X Axis		mm/mm	-1,51E-05
Extensão - Ponto 6 - Y Axis		mm/mm	2,31E-04
Extensão - Ponto 6 - Z Axis		mm/mm	-1,09E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis		mm/mm	5,04E-06
Extensão - Ponto 7 - Y Axis		mm/mm	4,40E-05
Extensão - Ponto 7 - Z Axis		mm/mm	-1,92E-05
Extensão - Ponto 8 - X Axis		mm/mm	-7,51E-06
Extensão - Ponto 8 - Y Axis		mm/mm	-1,42E-04
Extensão - Ponto 8 - Z Axis		mm/mm	-1,79E-05

Solicitação	15	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	863,93

Extensão - Ponto 1 - X Axis	mm/mm	6,50E-05
Extensão - Ponto 1 - Y Axis	mm/mm	-1,97E-04
Extensão - Ponto 1 - Z Axis	mm/mm	5,06E-05
Extensão - Ponto 2 - X Axis	mm/mm	4,84E-05
Extensão - Ponto 2 - Y Axis	mm/mm	-2,88E-05
Extensão - Ponto 2 - Z Axis	mm/mm	4,61E-05
Extensão - Ponto 3 - X Axis	mm/mm	-2,19E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis	mm/mm	7,87E-05
Extensão - Ponto 3 - Z Axis	mm/mm	-2,41E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis	mm/mm	-5,99E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis	mm/mm	1,34E-04
Extensão - Ponto 4 - Z Axis	mm/mm	-5,36E-05
Extensão - Ponto 5 - X Axis	mm/mm	-1,17E-04
Extensão - Ponto 5 - Y Axis	mm/mm	2,79E-04
Extensão - Ponto 5 - Z Axis	mm/mm	-7,53E-06
Extensão - Ponto 6 - X Axis	mm/mm	-4,63E-06
Extensão - Ponto 6 - Y Axis	mm/mm	1,93E-04
Extensão - Ponto 6 - Z Axis	mm/mm	1,82E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis	mm/mm	-9,75E-06
Extensão - Ponto 7 - Y Axis	mm/mm	-2,04E-05
Extensão - Ponto 7 - Z Axis	mm/mm	1,19E-05
Extensão - Ponto 8 - X Axis	mm/mm	-1,14E-05
Extensão - Ponto 8 - Y Axis	mm/mm	-1,89E-04
Extensão - Ponto 8 - Z Axis	mm/mm	1,76E-06

Solicitação	16	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	789,87
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	3,91E-05
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	-1,56E-04
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	7,22E-05
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	3,35E-05
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	1,96E-05
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	3,97E-05
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	-4,39E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	1,33E-04
Extensão - Ponto 3 - Z Axis		mm/mm	-3,79E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis		mm/mm	-6,30E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis		mm/mm	1,66E-04
Extensão - Ponto 4 - Z Axis		mm/mm	-5,06E-05
Extensão - Ponto 5 - X Axis		mm/mm	-1,25E-04
Extensão - Ponto 5 - Y Axis		mm/mm	2,71E-04
Extensão - Ponto 5 - Z Axis		mm/mm	2,26E-05
Extensão - Ponto 6 - X Axis		mm/mm	1,99E-07

Extensão - Ponto 6 - Y Axis	mm/mm	1,39E-04
Extensão - Ponto 6 - Z Axis	mm/mm	3,51E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis	mm/mm	-2,88E-05
Extensão - Ponto 7 - Y Axis	mm/mm	-7,88E-05
Extensão - Ponto 7 - Z Axis	mm/mm	4,32E-05
Extensão - Ponto 8 - X Axis	mm/mm	-6,40E-06
Extensão - Ponto 8 - Y Axis	mm/mm	-2,02E-04
Extensão - Ponto 8 - Z Axis	mm/mm	1,87E-05

Solicitação	17	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	815,50
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	9,95E-06
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	-1,01E-04
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	8,83E-05
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	1,64E-05
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	6,76E-05
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	3,05E-05
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	-6,21E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	1,80E-04
Extensão - Ponto 3 - Z Axis		mm/mm	-5,01E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis		mm/mm	-6,17E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis		mm/mm	1,87E-04
Extensão - Ponto 4 - Z Axis		mm/mm	-4,42E-05
Extensão - Ponto 5 - X Axis		mm/mm	-1,26E-04
Extensão - Ponto 5 - Y Axis		mm/mm	2,47E-04
Extensão - Ponto 5 - Z Axis		mm/mm	5,06E-05
Extensão - Ponto 6 - X Axis		mm/mm	4,67E-06
Extensão - Ponto 6 - Y Axis		mm/mm	7,73E-05
Extensão - Ponto 6 - Z Axis		mm/mm	4,89E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis		mm/mm	-4,56E-05
Extensão - Ponto 7 - Y Axis		mm/mm	-1,29E-04
Extensão - Ponto 7 - Z Axis		mm/mm	7,02E-05
Extensão - Ponto 8 - X Axis		mm/mm	-1,22E-06
Extensão - Ponto 8 - Y Axis		mm/mm	-1,99E-04
Extensão - Ponto 8 - Z Axis		mm/mm	3,38E-05

Solicitação	18	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	877,54
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	-2,04E-05
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	-3,84E-05
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	9,78E-05
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	-1,72E-06

Extensão - Ponto 2 - Y Axis	mm/mm	1,12E-04
Extensão - Ponto 2 - Z Axis	mm/mm	1,92E-05
Extensão - Ponto 3 - X Axis	mm/mm	-7,53E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis	mm/mm	2,16E-04
Extensão - Ponto 3 - Z Axis	mm/mm	-5,96E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis	mm/mm	-5,59E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis	mm/mm	1,97E-04
Extensão - Ponto 4 - Z Axis	mm/mm	-3,49E-05
Extensão - Ponto 5 - X Axis	mm/mm	-1,19E-04
Extensão - Ponto 5 - Y Axis	mm/mm	2,07E-04
Extensão - Ponto 5 - Z Axis	mm/mm	7,46E-05
Extensão - Ponto 6 - X Axis	mm/mm	8,46E-06
Extensão - Ponto 6 - Y Axis	mm/mm	1,26E-05
Extensão - Ponto 6 - Z Axis	mm/mm	5,89E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis	mm/mm	-5,88E-05
Extensão - Ponto 7 - Y Axis	mm/mm	-1,68E-04
Extensão - Ponto 7 - Z Axis	mm/mm	9,11E-05
Extensão - Ponto 8 - X Axis	mm/mm	3,76E-06
Extensão - Ponto 8 - Y Axis	mm/mm	-1,80E-04
Extensão - Ponto 8 - Z Axis	mm/mm	4,61E-05

Solicitação	19	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	906,03
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	-4,99E-05
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	2,88E-05
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	1,00E-04
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	-1,95E-05
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	1,50E-04
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	6,55E-06
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	-8,27E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	2,39E-04
Extensão - Ponto 3 - Z Axis		mm/mm	-6,58E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis		mm/mm	-4,61E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis		mm/mm	1,93E-04
Extensão - Ponto 4 - Z Axis		mm/mm	-2,34E-05
Extensão - Ponto 5 - X Axis		mm/mm	-1,04E-04
Extensão - Ponto 5 - Y Axis		mm/mm	1,55E-04
Extensão - Ponto 5 - Z Axis		mm/mm	9,30E-05
Extensão - Ponto 6 - X Axis		mm/mm	1,13E-05
Extensão - Ponto 6 - Y Axis		mm/mm	-5,08E-05
Extensão - Ponto 6 - Z Axis		mm/mm	6,42E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis		mm/mm	-6,76E-05
Extensão - Ponto 7 - Y Axis		mm/mm	-1,92E-04

Extensão - Ponto 7 - Z Axis	mm/mm	1,04E-04
Extensão - Ponto 8 - X Axis	mm/mm	8,19E-06
Extensão - Ponto 8 - Y Axis	mm/mm	-1,47E-04
Extensão - Ponto 8 - Z Axis	mm/mm	5,47E-05

Solicitação	20	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	897,12
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	-7,66E-05
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	9,58E-05
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	9,51E-05
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	-3,59E-05
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	1,78E-04
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	-6,62E-06
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	-8,36E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	2,46E-04
Extensão - Ponto 3 - Z Axis		mm/mm	-6,84E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis		mm/mm	-3,29E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis		mm/mm	1,78E-04
Extensão - Ponto 4 - Z Axis		mm/mm	-1,03E-05
Extensão - Ponto 5 - X Axis		mm/mm	-8,27E-05
Extensão - Ponto 5 - Y Axis		mm/mm	9,44E-05
Extensão - Ponto 5 - Z Axis		mm/mm	1,05E-04
Extensão - Ponto 6 - X Axis		mm/mm	1,31E-05
Extensão - Ponto 6 - Y Axis		mm/mm	-1,08E-04
Extensão - Ponto 6 - Z Axis		mm/mm	6,46E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis		mm/mm	-7,14E-05
Extensão - Ponto 7 - Y Axis		mm/mm	-2,01E-04
Extensão - Ponto 7 - Z Axis		mm/mm	1,09E-04
Extensão - Ponto 8 - X Axis		mm/mm	1,18E-05
Extensão - Ponto 8 - Y Axis		mm/mm	-1,02E-04
Extensão - Ponto 8 - Z Axis		mm/mm	5,90E-05

Solicitação	21	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	851,96
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	-9,86E-05
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	1,58E-04
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	8,31E-05
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	-4,97E-05
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	1,95E-04
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	-1,94E-05
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	-7,81E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	2,38E-04

Extensão - Ponto 3 - Z Axis	mm/mm	-6,71E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis	mm/mm	-1,73E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis	mm/mm	1,52E-04
Extensão - Ponto 4 - Z Axis	mm/mm	3,34E-06
Extensão - Ponto 5 - X Axis	mm/mm	-5,61E-05
Extensão - Ponto 5 - Y Axis	mm/mm	2,88E-05
Extensão - Ponto 5 - Z Axis	mm/mm	1,08E-04
Extensão - Ponto 6 - X Axis	mm/mm	1,36E-05
Extensão - Ponto 6 - Y Axis	mm/mm	-1,56E-04
Extensão - Ponto 6 - Z Axis	mm/mm	6,00E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis	mm/mm	-7,00E-05
Extensão - Ponto 7 - Y Axis	mm/mm	-1,93E-04
Extensão - Ponto 7 - Z Axis	mm/mm	1,06E-04
Extensão - Ponto 8 - X Axis	mm/mm	1,43E-05
Extensão - Ponto 8 - Y Axis	mm/mm	-4,72E-05
Extensão - Ponto 8 - Z Axis	mm/mm	5,87E-05

Solicitação	22	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	838,49
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	-1,14E-04
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	2,11E-04
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	6,48E-05
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	-5,99E-05
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	2,00E-04
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	-3,09E-05
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	-6,65E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	2,15E-04
Extensão - Ponto 3 - Z Axis		mm/mm	-6,21E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis		mm/mm	-2,94E-07
Extensão - Ponto 4 - Y Axis		mm/mm	1,16E-04
Extensão - Ponto 4 - Z Axis		mm/mm	1,66E-05
Extensão - Ponto 5 - X Axis		mm/mm	-2,63E-05
Extensão - Ponto 5 - Y Axis		mm/mm	-3,70E-05
Extensão - Ponto 5 - Z Axis		mm/mm	1,04E-04
Extensão - Ponto 6 - X Axis		mm/mm	1,28E-05
Extensão - Ponto 6 - Y Axis		mm/mm	-1,92E-04
Extensão - Ponto 6 - Z Axis		mm/mm	5,07E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis		mm/mm	-6,34E-05
Extensão - Ponto 7 - Y Axis		mm/mm	-1,69E-04
Extensão - Ponto 7 - Z Axis		mm/mm	9,34E-05
Extensão - Ponto 8 - X Axis		mm/mm	1,55E-05
Extensão - Ponto 8 - Y Axis		mm/mm	1,24E-05
Extensão - Ponto 8 - Z Axis		mm/mm	5,39E-05

Solicitação	23	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	906,92
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	-1,23E-04
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	2,52E-04
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	4,16E-05
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	-6,59E-05
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	1,92E-04
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	-4,04E-05
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	-4,96E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	1,78E-04
Extensão - Ponto 3 - Z Axis		mm/mm	-5,36E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis		mm/mm	1,70E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis		mm/mm	7,27E-05
Extensão - Ponto 4 - Z Axis		mm/mm	2,88E-05
Extensão - Ponto 5 - X Axis		mm/mm	4,92E-06
Extensão - Ponto 5 - Y Axis		mm/mm	-9,87E-05
Extensão - Ponto 5 - Z Axis		mm/mm	9,25E-05
Extensão - Ponto 6 - X Axis		mm/mm	1,08E-05
Extensão - Ponto 6 - Y Axis		mm/mm	-2,11E-04
Extensão - Ponto 6 - Z Axis		mm/mm	3,73E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis		mm/mm	-5,21E-05
Extensão - Ponto 7 - Y Axis		mm/mm	-1,31E-04
Extensão - Ponto 7 - Z Axis		mm/mm	7,34E-05
Extensão - Ponto 8 - X Axis		mm/mm	1,54E-05
Extensão - Ponto 8 - Y Axis		mm/mm	7,35E-05
Extensão - Ponto 8 - Z Axis		mm/mm	4,48E-05

Solicitação	24	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	963,09
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	-1,24E-04
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	2,77E-04
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	1,50E-05
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	-6,73E-05
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	1,72E-04
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	-4,72E-05
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	-2,85E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	1,31E-04
Extensão - Ponto 3 - Z Axis		mm/mm	-4,23E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis		mm/mm	3,33E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis		mm/mm	2,58E-05
Extensão - Ponto 4 - Z Axis		mm/mm	3,88E-05

Extensão - Ponto 5 - X Axis	mm/mm	3,52E-05
Extensão - Ponto 5 - Y Axis	mm/mm	-1,52E-04
Extensão - Ponto 5 - Z Axis	mm/mm	7,39E-05
Extensão - Ponto 6 - X Axis	mm/mm	7,75E-06
Extensão - Ponto 6 - Y Axis	mm/mm	-2,15E-04
Extensão - Ponto 6 - Z Axis	mm/mm	2,09E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis	mm/mm	-3,68E-05
Extensão - Ponto 7 - Y Axis	mm/mm	-8,17E-05
Extensão - Ponto 7 - Z Axis	mm/mm	4,71E-05
Extensão - Ponto 8 - X Axis	mm/mm	1,39E-05
Extensão - Ponto 8 - Y Axis	mm/mm	1,32E-04
Extensão - Ponto 8 - Z Axis	mm/mm	3,22E-05

Solicitação	25	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	978,24
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	-1,34E-04
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	2,74E-04
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	4,50E-05
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	-7,15E-05
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	2,09E-04
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	-4,39E-05
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	-5,35E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	1,94E-04
Extensão - Ponto 3 - Z Axis		mm/mm	-5,85E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis		mm/mm	1,85E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis		mm/mm	7,93E-05
Extensão - Ponto 4 - Z Axis		mm/mm	3,12E-05
Extensão - Ponto 5 - X Axis		mm/mm	5,14E-06
Extensão - Ponto 5 - Y Axis		mm/mm	-1,06E-04
Extensão - Ponto 5 - Z Axis		mm/mm	1,00E-04
Extensão - Ponto 6 - X Axis		mm/mm	1,16E-05
Extensão - Ponto 6 - Y Axis		mm/mm	-2,29E-04
Extensão - Ponto 6 - Z Axis		mm/mm	4,03E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis		mm/mm	-5,64E-05
Extensão - Ponto 7 - Y Axis		mm/mm	-1,42E-04
Extensão - Ponto 7 - Z Axis		mm/mm	7,92E-05
Extensão - Ponto 8 - X Axis		mm/mm	1,66E-05
Extensão - Ponto 8 - Y Axis		mm/mm	8,06E-05
Extensão - Ponto 8 - Z Axis		mm/mm	4,85E-05

Solicitação	26	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	1002,28

Extensão - Ponto 1 - X Axis	mm/mm	-1,17E-04
Extensão - Ponto 1 - Y Axis	mm/mm	2,85E-04
Extensão - Ponto 1 - Z Axis	mm/mm	-1,32E-05
Extensão - Ponto 2 - X Axis	mm/mm	-6,39E-05
Extensão - Ponto 2 - Y Axis	mm/mm	1,42E-04
Extensão - Ponto 2 - Z Axis	mm/mm	-5,08E-05
Extensão - Ponto 3 - X Axis	mm/mm	-4,79E-06
Extensão - Ponto 3 - Y Axis	mm/mm	7,59E-05
Extensão - Ponto 3 - Z Axis	mm/mm	-2,89E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis	mm/mm	4,75E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis	mm/mm	-2,19E-05
Extensão - Ponto 4 - Z Axis	mm/mm	4,61E-05
Extensão - Ponto 5 - X Axis	mm/mm	6,26E-05
Extensão - Ponto 5 - Y Axis	mm/mm	-1,93E-04
Extensão - Ponto 5 - Z Axis	mm/mm	4,97E-05
Extensão - Ponto 6 - X Axis	mm/mm	3,79E-06
Extensão - Ponto 6 - Y Axis	mm/mm	-2,01E-04
Extensão - Ponto 6 - Z Axis	mm/mm	2,41E-06
Extensão - Ponto 7 - X Axis	mm/mm	-1,86E-05
Extensão - Ponto 7 - Y Axis	mm/mm	-2,35E-05
Extensão - Ponto 7 - Z Axis	mm/mm	1,63E-05
Extensão - Ponto 8 - X Axis	mm/mm	1,12E-05
Extensão - Ponto 8 - Y Axis	mm/mm	1,83E-04
Extensão - Ponto 8 - Z Axis	mm/mm	1,68E-05

Solicitação	27	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	996,77
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	5,66E-05
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	-1,22E-04
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	-1,80E-06
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	5,36E-05
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	-3,86E-05
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	3,28E-05
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	2,46E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	3,30E-05
Extensão - Ponto 3 - Z Axis		mm/mm	-2,45E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis		mm/mm	-4,55E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis		mm/mm	9,94E-05
Extensão - Ponto 4 - Z Axis		mm/mm	-4,41E-05
Extensão - Ponto 5 - X Axis		mm/mm	-9,98E-05
Extensão - Ponto 5 - Y Axis		mm/mm	2,52E-04
Extensão - Ponto 5 - Z Axis		mm/mm	-2,79E-05
Extensão - Ponto 6 - X Axis		mm/mm	-1,80E-05

Extensão - Ponto 6 - Y Axis	mm/mm	2,41E-04
Extensão - Ponto 6 - Z Axis	mm/mm	-1,94E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis	mm/mm	9,27E-06
Extensão - Ponto 7 - Y Axis	mm/mm	7,98E-05
Extensão - Ponto 7 - Z Axis	mm/mm	-3,58E-05
Extensão - Ponto 8 - X Axis	mm/mm	-1,03E-05
Extensão - Ponto 8 - Y Axis	mm/mm	-9,94E-05
Extensão - Ponto 8 - Z Axis	mm/mm	-2,38E-05

Solicitação	28	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	909,02
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	5,00E-05
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	-1,50E-04
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	3,71E-05
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	4,56E-05
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	-1,13E-05
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	4,03E-05
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	-8,08E-06
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	8,95E-05
Extensão - Ponto 3 - Z Axis		mm/mm	-3,39E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis		mm/mm	-5,05E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis		mm/mm	1,35E-04
Extensão - Ponto 4 - Z Axis		mm/mm	-4,96E-05
Extensão - Ponto 5 - X Axis		mm/mm	-1,12E-04
Extensão - Ponto 5 - Y Axis		mm/mm	2,76E-04
Extensão - Ponto 5 - Z Axis		mm/mm	-1,51E-05
Extensão - Ponto 6 - X Axis		mm/mm	-9,47E-06
Extensão - Ponto 6 - Y Axis		mm/mm	2,07E-04
Extensão - Ponto 6 - Z Axis		mm/mm	7,42E-06
Extensão - Ponto 7 - X Axis		mm/mm	-2,74E-06
Extensão - Ponto 7 - Y Axis		mm/mm	2,37E-05
Extensão - Ponto 7 - Z Axis		mm/mm	-9,15E-06
Extensão - Ponto 8 - X Axis		mm/mm	-1,47E-05
Extensão - Ponto 8 - Y Axis		mm/mm	-1,37E-04
Extensão - Ponto 8 - Z Axis		mm/mm	-6,81E-06

Solicitação	29	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	779,87
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	2,68E-05
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	-1,13E-04
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	5,65E-05
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	3,22E-05

Extensão - Ponto 2 - Y Axis	mm/mm	3,21E-05
Extensão - Ponto 2 - Z Axis	mm/mm	3,46E-05
Extensão - Ponto 3 - X Axis	mm/mm	-2,78E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis	mm/mm	1,39E-04
Extensão - Ponto 3 - Z Axis	mm/mm	-4,63E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis	mm/mm	-5,33E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis	mm/mm	1,63E-04
Extensão - Ponto 4 - Z Axis	mm/mm	-4,68E-05
Extensão - Ponto 5 - X Axis	mm/mm	-1,20E-04
Extensão - Ponto 5 - Y Axis	mm/mm	2,69E-04
Extensão - Ponto 5 - Z Axis	mm/mm	1,19E-05
Extensão - Ponto 6 - X Axis	mm/mm	-5,14E-06
Extensão - Ponto 6 - Y Axis	mm/mm	1,59E-04
Extensão - Ponto 6 - Z Axis	mm/mm	2,25E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis	mm/mm	-1,98E-05
Extensão - Ponto 7 - Y Axis	mm/mm	-2,87E-05
Extensão - Ponto 7 - Z Axis	mm/mm	1,89E-05
Extensão - Ponto 8 - X Axis	mm/mm	-1,01E-05
Extensão - Ponto 8 - Y Axis	mm/mm	-1,48E-04
Extensão - Ponto 8 - Z Axis	mm/mm	8,40E-06

Solicitação	30	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	788,81
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	6,35E-07
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	-6,43E-05
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	7,09E-05
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	1,68E-05
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	7,51E-05
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	2,64E-05
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	-4,41E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	1,81E-04
Extensão - Ponto 3 - Z Axis		mm/mm	-5,72E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis		mm/mm	-5,21E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis		mm/mm	1,82E-04
Extensão - Ponto 4 - Z Axis		mm/mm	-4,11E-05
Extensão - Ponto 5 - X Axis		mm/mm	-1,21E-04
Extensão - Ponto 5 - Y Axis		mm/mm	2,47E-04
Extensão - Ponto 5 - Z Axis		mm/mm	3,70E-05
Extensão - Ponto 6 - X Axis		mm/mm	-1,14E-06
Extensão - Ponto 6 - Y Axis		mm/mm	1,03E-04
Extensão - Ponto 6 - Z Axis		mm/mm	3,49E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis		mm/mm	-3,48E-05
Extensão - Ponto 7 - Y Axis		mm/mm	-7,38E-05

Extensão - Ponto 7 - Z Axis	mm/mm	4,31E-05
Extensão - Ponto 8 - X Axis	mm/mm	-5,50E-06
Extensão - Ponto 8 - Y Axis	mm/mm	-1,45E-04
Extensão - Ponto 8 - Z Axis	mm/mm	2,20E-05

Solicitação	31	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	846,86
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	-2,66E-05
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	-7,95E-06
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	7,95E-05
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	6,14E-07
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	1,15E-04
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	1,63E-05
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	-5,60E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	2,13E-04
Extensão - Ponto 3 - Z Axis		mm/mm	-6,57E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis		mm/mm	-4,69E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis		mm/mm	1,90E-04
Extensão - Ponto 4 - Z Axis		mm/mm	-3,28E-05
Extensão - Ponto 5 - X Axis		mm/mm	-1,15E-04
Extensão - Ponto 5 - Y Axis		mm/mm	2,12E-04
Extensão - Ponto 5 - Z Axis		mm/mm	5,86E-05
Extensão - Ponto 6 - X Axis		mm/mm	2,27E-06
Extensão - Ponto 6 - Y Axis		mm/mm	4,52E-05
Extensão - Ponto 6 - Z Axis		mm/mm	4,38E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis		mm/mm	-4,67E-05
Extensão - Ponto 7 - Y Axis		mm/mm	-1,08E-04
Extensão - Ponto 7 - Z Axis		mm/mm	6,18E-05
Extensão - Ponto 8 - X Axis		mm/mm	-1,03E-06
Extensão - Ponto 8 - Y Axis		mm/mm	-1,29E-04
Extensão - Ponto 8 - Z Axis		mm/mm	3,30E-05

Solicitação	32	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	873,26
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	-5,30E-05
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	5,23E-05
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	8,16E-05
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	-1,54E-05
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	1,49E-04
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	4,92E-06
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	-6,25E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	2,33E-04

Extensão - Ponto 3 - Z Axis	mm/mm	-7,13E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis	mm/mm	-3,81E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis	mm/mm	1,88E-04
Extensão - Ponto 4 - Z Axis	mm/mm	-2,25E-05
Extensão - Ponto 5 - X Axis	mm/mm	-1,01E-04
Extensão - Ponto 5 - Y Axis	mm/mm	1,65E-04
Extensão - Ponto 5 - Z Axis	mm/mm	7,51E-05
Extensão - Ponto 6 - X Axis	mm/mm	4,84E-06
Extensão - Ponto 6 - Y Axis	mm/mm	-1,15E-05
Extensão - Ponto 6 - Z Axis	mm/mm	4,86E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis	mm/mm	-5,46E-05
Extensão - Ponto 7 - Y Axis	mm/mm	-1,30E-04
Extensão - Ponto 7 - Z Axis	mm/mm	7,38E-05
Extensão - Ponto 8 - X Axis	mm/mm	2,94E-06
Extensão - Ponto 8 - Y Axis	mm/mm	-9,90E-05
Extensão - Ponto 8 - Z Axis	mm/mm	4,07E-05

Solicitação	33	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	864,84
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	-7,69E-05
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	1,12E-04
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	7,71E-05
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	-3,00E-05
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	1,74E-04
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	-6,89E-06
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	-6,34E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	2,40E-04
Extensão - Ponto 3 - Z Axis		mm/mm	-7,36E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis		mm/mm	-2,63E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis		mm/mm	1,74E-04
Extensão - Ponto 4 - Z Axis		mm/mm	-1,08E-05
Extensão - Ponto 5 - X Axis		mm/mm	-8,20E-05
Extensão - Ponto 5 - Y Axis		mm/mm	1,11E-04
Extensão - Ponto 5 - Z Axis		mm/mm	8,54E-05
Extensão - Ponto 6 - X Axis		mm/mm	6,41E-06
Extensão - Ponto 6 - Y Axis		mm/mm	-6,32E-05
Extensão - Ponto 6 - Z Axis		mm/mm	4,90E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis		mm/mm	-5,80E-05
Extensão - Ponto 7 - Y Axis		mm/mm	-1,38E-04
Extensão - Ponto 7 - Z Axis		mm/mm	7,83E-05
Extensão - Ponto 8 - X Axis		mm/mm	6,15E-06
Extensão - Ponto 8 - Y Axis		mm/mm	-5,84E-05
Extensão - Ponto 8 - Z Axis		mm/mm	4,45E-05

Solicitação	34	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	822,55
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	-9,67E-05
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	1,68E-04
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	6,63E-05
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	-4,24E-05
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	1,90E-04
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	-1,84E-05
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	-5,84E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	2,32E-04
Extensão - Ponto 3 - Z Axis		mm/mm	-7,25E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis		mm/mm	-1,23E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis		mm/mm	1,50E-04
Extensão - Ponto 4 - Z Axis		mm/mm	1,48E-06
Extensão - Ponto 5 - X Axis		mm/mm	-5,81E-05
Extensão - Ponto 5 - Y Axis		mm/mm	5,18E-05
Extensão - Ponto 5 - Z Axis		mm/mm	8,88E-05
Extensão - Ponto 6 - X Axis		mm/mm	6,87E-06
Extensão - Ponto 6 - Y Axis		mm/mm	-1,06E-04
Extensão - Ponto 6 - Z Axis		mm/mm	4,48E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis		mm/mm	-5,67E-05
Extensão - Ponto 7 - Y Axis		mm/mm	-1,31E-04
Extensão - Ponto 7 - Z Axis		mm/mm	7,49E-05
Extensão - Ponto 8 - X Axis		mm/mm	8,38E-06
Extensão - Ponto 8 - Y Axis		mm/mm	-9,69E-06
Extensão - Ponto 8 - Z Axis		mm/mm	4,43E-05

Solicitação	35	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	798,03
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	-1,11E-04
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	2,16E-04
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	4,99E-05
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	-5,15E-05
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	1,94E-04
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	-2,87E-05
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	-4,80E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	2,12E-04
Extensão - Ponto 3 - Z Axis		mm/mm	-6,80E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis		mm/mm	2,97E-06
Extensão - Ponto 4 - Y Axis		mm/mm	1,18E-04
Extensão - Ponto 4 - Z Axis		mm/mm	1,34E-05

Extensão - Ponto 5 - X Axis	mm/mm	-3,14E-05
Extensão - Ponto 5 - Y Axis	mm/mm	-7,21E-06
Extensão - Ponto 5 - Z Axis	mm/mm	8,52E-05
Extensão - Ponto 6 - X Axis	mm/mm	6,18E-06
Extensão - Ponto 6 - Y Axis	mm/mm	-1,38E-04
Extensão - Ponto 6 - Z Axis	mm/mm	3,65E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis	mm/mm	-5,08E-05
Extensão - Ponto 7 - Y Axis	mm/mm	-1,10E-04
Extensão - Ponto 7 - Z Axis	mm/mm	6,38E-05
Extensão - Ponto 8 - X Axis	mm/mm	9,48E-06
Extensão - Ponto 8 - Y Axis	mm/mm	4,38E-05
Extensão - Ponto 8 - Z Axis	mm/mm	3,99E-05

Solicitação	36	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	880,61
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	-1,19E-04
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	2,52E-04
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	2,91E-05
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	-5,69E-05
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	1,87E-04
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	-3,72E-05
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	-3,29E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	1,79E-04
Extensão - Ponto 3 - Z Axis		mm/mm	-6,04E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis		mm/mm	1,84E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis		mm/mm	7,94E-05
Extensão - Ponto 4 - Z Axis		mm/mm	2,43E-05
Extensão - Ponto 5 - X Axis		mm/mm	-3,42E-06
Extensão - Ponto 5 - Y Axis		mm/mm	-6,25E-05
Extensão - Ponto 5 - Z Axis		mm/mm	7,46E-05
Extensão - Ponto 6 - X Axis		mm/mm	4,39E-06
Extensão - Ponto 6 - Y Axis		mm/mm	-1,56E-04
Extensão - Ponto 6 - Z Axis		mm/mm	2,46E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis		mm/mm	-4,07E-05
Extensão - Ponto 7 - Y Axis		mm/mm	-7,58E-05
Extensão - Ponto 7 - Z Axis		mm/mm	4,59E-05
Extensão - Ponto 8 - X Axis		mm/mm	9,38E-06
Extensão - Ponto 8 - Y Axis		mm/mm	9,85E-05
Extensão - Ponto 8 - Z Axis		mm/mm	3,18E-05

Solicitação	37	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	943,52

Extensão - Ponto 1 - X Axis	mm/mm	-1,19E-04
Extensão - Ponto 1 - Y Axis	mm/mm	2,75E-04
Extensão - Ponto 1 - Z Axis	mm/mm	5,23E-06
Extensão - Ponto 2 - X Axis	mm/mm	-5,82E-05
Extensão - Ponto 2 - Y Axis	mm/mm	1,69E-04
Extensão - Ponto 2 - Z Axis	mm/mm	-4,33E-05
Extensão - Ponto 3 - X Axis	mm/mm	-1,40E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis	mm/mm	1,36E-04
Extensão - Ponto 3 - Z Axis	mm/mm	-5,02E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis	mm/mm	3,30E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis	mm/mm	3,73E-05
Extensão - Ponto 4 - Z Axis	mm/mm	3,33E-05
Extensão - Ponto 5 - X Axis	mm/mm	2,38E-05
Extensão - Ponto 5 - Y Axis	mm/mm	-1,10E-04
Extensão - Ponto 5 - Z Axis	mm/mm	5,79E-05
Extensão - Ponto 6 - X Axis	mm/mm	1,63E-06
Extensão - Ponto 6 - Y Axis	mm/mm	-1,58E-04
Extensão - Ponto 6 - Z Axis	mm/mm	9,80E-06
Extensão - Ponto 7 - X Axis	mm/mm	-2,70E-05
Extensão - Ponto 7 - Y Axis	mm/mm	-3,12E-05
Extensão - Ponto 7 - Z Axis	mm/mm	2,24E-05
Extensão - Ponto 8 - X Axis	mm/mm	8,07E-06
Extensão - Ponto 8 - Y Axis	mm/mm	1,51E-04
Extensão - Ponto 8 - Z Axis	mm/mm	2,05E-05

Solicitação	38	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	980,52
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	-1,13E-04
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	2,82E-04
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	-2,00E-05
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	-5,52E-05
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	1,42E-04
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	-4,65E-05
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	7,28E-06
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	8,71E-05
Extensão - Ponto 3 - Z Axis		mm/mm	-3,82E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis		mm/mm	4,58E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis		mm/mm	-5,51E-06
Extensão - Ponto 4 - Z Axis		mm/mm	3,98E-05
Extensão - Ponto 5 - X Axis		mm/mm	4,83E-05
Extensão - Ponto 5 - Y Axis		mm/mm	-1,47E-04
Extensão - Ponto 5 - Z Axis		mm/mm	3,62E-05
Extensão - Ponto 6 - X Axis		mm/mm	-1,92E-06

Extensão - Ponto 6 - Y Axis	mm/mm	-1,46E-04
Extensão - Ponto 6 - Z Axis	mm/mm	-6,76E-06
Extensão - Ponto 7 - X Axis	mm/mm	-1,07E-05
Extensão - Ponto 7 - Y Axis	mm/mm	2,09E-05
Extensão - Ponto 7 - Z Axis	mm/mm	-5,24E-06
Extensão - Ponto 8 - X Axis	mm/mm	5,66E-06
Extensão - Ponto 8 - Y Axis	mm/mm	1,97E-04
Extensão - Ponto 8 - Z Axis	mm/mm	6,65E-06

Solicitação	39	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	987,34
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	-8,21E-05
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	1,89E-04
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	-1,67E-05
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	-4,53E-05
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	9,14E-05
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	-3,88E-05
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	1,99E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	3,38E-05
Extensão - Ponto 3 - Z Axis		mm/mm	-2,18E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis		mm/mm	5,25E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis		mm/mm	-4,38E-05
Extensão - Ponto 4 - Z Axis		mm/mm	3,68E-05
Extensão - Ponto 5 - X Axis		mm/mm	6,83E-05
Extensão - Ponto 5 - Y Axis		mm/mm	-1,60E-04
Extensão - Ponto 5 - Z Axis		mm/mm	3,32E-06
Extensão - Ponto 6 - X Axis		mm/mm	1,13E-06
Extensão - Ponto 6 - Y Axis		mm/mm	-1,14E-04
Extensão - Ponto 6 - Z Axis		mm/mm	-1,66E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis		mm/mm	8,45E-06
Extensão - Ponto 7 - Y Axis		mm/mm	7,07E-05
Extensão - Ponto 7 - Z Axis		mm/mm	-3,35E-05
Extensão - Ponto 8 - X Axis		mm/mm	-2,94E-06
Extensão - Ponto 8 - Y Axis		mm/mm	2,05E-04
Extensão - Ponto 8 - Z Axis		mm/mm	-5,19E-06

Solicitação	40	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	964,27
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	3,85E-05
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	-7,98E-05
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	-7,00E-06
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	4,62E-05

Extensão - Ponto 2 - Y Axis	mm/mm	-1,58E-05
Extensão - Ponto 2 - Z Axis	mm/mm	2,50E-05
Extensão - Ponto 3 - X Axis	mm/mm	3,34E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis	mm/mm	4,69E-05
Extensão - Ponto 3 - Z Axis	mm/mm	-3,39E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis	mm/mm	-3,50E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis	mm/mm	9,77E-05
Extensão - Ponto 4 - Z Axis	mm/mm	-3,82E-05
Extensão - Ponto 5 - X Axis	mm/mm	-9,09E-05
Extensão - Ponto 5 - Y Axis	mm/mm	2,34E-04
Extensão - Ponto 5 - Z Axis	mm/mm	-3,01E-05
Extensão - Ponto 6 - X Axis	mm/mm	-1,98E-05
Extensão - Ponto 6 - Y Axis	mm/mm	2,34E-04
Extensão - Ponto 6 - Z Axis	mm/mm	-2,66E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis	mm/mm	1,29E-05
Extensão - Ponto 7 - Y Axis	mm/mm	1,10E-04
Extensão - Ponto 7 - Z Axis	mm/mm	-4,99E-05
Extensão - Ponto 8 - X Axis	mm/mm	-1,23E-05
Extensão - Ponto 8 - Y Axis	mm/mm	-4,96E-05
Extensão - Ponto 8 - Z Axis	mm/mm	-2,81E-05

Solicitação	41	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	892,40
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	3,16E-05
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	-9,33E-05
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	2,12E-05
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	3,96E-05
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	6,92E-06
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	3,19E-05
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	6,31E-06
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	9,43E-05
Extensão - Ponto 3 - Z Axis		mm/mm	-4,14E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis		mm/mm	-3,76E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis		mm/mm	1,26E-04
Extensão - Ponto 4 - Z Axis		mm/mm	-4,22E-05
Extensão - Ponto 5 - X Axis		mm/mm	-1,00E-04
Extensão - Ponto 5 - Y Axis		mm/mm	2,55E-04
Extensão - Ponto 5 - Z Axis		mm/mm	-2,16E-05
Extensão - Ponto 6 - X Axis		mm/mm	-1,37E-05
Extensão - Ponto 6 - Y Axis		mm/mm	2,07E-04
Extensão - Ponto 6 - Z Axis		mm/mm	-3,89E-06
Extensão - Ponto 7 - X Axis		mm/mm	4,47E-06
Extensão - Ponto 7 - Y Axis		mm/mm	6,62E-05

Extensão - Ponto 7 - Z Axis	mm/mm	-2,96E-05
Extensão - Ponto 8 - X Axis	mm/mm	-1,69E-05
Extensão - Ponto 8 - Y Axis	mm/mm	-7,51E-05
Extensão - Ponto 8 - Z Axis	mm/mm	-1,49E-05

Solicitação	42	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	783,61
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	1,26E-05
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	-6,26E-05
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	3,69E-05
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	2,87E-05
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	4,23E-05
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	2,72E-05
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	-9,77E-06
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	1,34E-04
Extensão - Ponto 3 - Z Axis		mm/mm	-5,15E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis		mm/mm	-3,99E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis		mm/mm	1,49E-04
Extensão - Ponto 4 - Z Axis		mm/mm	-3,99E-05
Extensão - Ponto 5 - X Axis		mm/mm	-1,07E-04
Extensão - Ponto 5 - Y Axis		mm/mm	2,49E-04
Extensão - Ponto 5 - Z Axis		mm/mm	4,31E-07
Extensão - Ponto 6 - X Axis		mm/mm	-1,01E-05
Extensão - Ponto 6 - Y Axis		mm/mm	1,67E-04
Extensão - Ponto 6 - Z Axis		mm/mm	8,43E-06
Extensão - Ponto 7 - X Axis		mm/mm	-9,51E-06
Extensão - Ponto 7 - Y Axis		mm/mm	2,34E-05
Extensão - Ponto 7 - Z Axis		mm/mm	-6,74E-06
Extensão - Ponto 8 - X Axis		mm/mm	-1,32E-05
Extensão - Ponto 8 - Y Axis		mm/mm	-8,45E-05
Extensão - Ponto 8 - Z Axis		mm/mm	-2,50E-06

Solicitação	43	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	709,26
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	-8,73E-06
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	-2,29E-05
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	4,87E-05
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	1,61E-05
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	7,75E-05
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	2,05E-05
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	-2,31E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	1,69E-04

Extensão - Ponto 3 - Z Axis	mm/mm	-6,04E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis	mm/mm	-3,89E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis	mm/mm	1,64E-04
Extensão - Ponto 4 - Z Axis	mm/mm	-3,53E-05
Extensão - Ponto 5 - X Axis	mm/mm	-1,08E-04
Extensão - Ponto 5 - Y Axis	mm/mm	2,31E-04
Extensão - Ponto 5 - Z Axis	mm/mm	2,09E-05
Extensão - Ponto 6 - X Axis	mm/mm	-6,86E-06
Extensão - Ponto 6 - Y Axis	mm/mm	1,22E-04
Extensão - Ponto 6 - Z Axis	mm/mm	1,86E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis	mm/mm	-2,17E-05
Extensão - Ponto 7 - Y Axis	mm/mm	-1,34E-05
Extensão - Ponto 7 - Z Axis	mm/mm	1,30E-05
Extensão - Ponto 8 - X Axis	mm/mm	-9,40E-06
Extensão - Ponto 8 - Y Axis	mm/mm	-8,23E-05
Extensão - Ponto 8 - Z Axis	mm/mm	8,58E-06

Solicitação	44	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	758,90
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	-3,10E-05
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	2,31E-05
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	5,57E-05
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	2,90E-06
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	1,10E-04
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	1,22E-05
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	-3,28E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	1,95E-04
Extensão - Ponto 3 - Z Axis		mm/mm	-6,74E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis		mm/mm	-3,47E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis		mm/mm	1,71E-04
Extensão - Ponto 4 - Z Axis		mm/mm	-2,85E-05
Extensão - Ponto 5 - X Axis		mm/mm	-1,02E-04
Extensão - Ponto 5 - Y Axis		mm/mm	2,02E-04
Extensão - Ponto 5 - Z Axis		mm/mm	3,85E-05
Extensão - Ponto 6 - X Axis		mm/mm	-4,08E-06
Extensão - Ponto 6 - Y Axis		mm/mm	7,48E-05
Extensão - Ponto 6 - Z Axis		mm/mm	2,58E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis		mm/mm	-3,14E-05
Extensão - Ponto 7 - Y Axis		mm/mm	-4,17E-05
Extensão - Ponto 7 - Z Axis		mm/mm	2,83E-05
Extensão - Ponto 8 - X Axis		mm/mm	-5,76E-06
Extensão - Ponto 8 - Y Axis		mm/mm	-6,87E-05
Extensão - Ponto 8 - Z Axis		mm/mm	1,76E-05

Solicitação	45	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	781,24
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	-5,26E-05
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	7,23E-05
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	5,74E-05
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	-1,01E-05
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	1,38E-04
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	2,96E-06
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	-3,82E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	2,11E-04
Extensão - Ponto 3 - Z Axis		mm/mm	-7,19E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis		mm/mm	-2,75E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis		mm/mm	1,69E-04
Extensão - Ponto 4 - Z Axis		mm/mm	-2,00E-05
Extensão - Ponto 5 - X Axis		mm/mm	-9,14E-05
Extensão - Ponto 5 - Y Axis		mm/mm	1,64E-04
Extensão - Ponto 5 - Z Axis		mm/mm	5,20E-05
Extensão - Ponto 6 - X Axis		mm/mm	-1,98E-06
Extensão - Ponto 6 - Y Axis		mm/mm	2,85E-05
Extensão - Ponto 6 - Z Axis		mm/mm	2,98E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis		mm/mm	-3,79E-05
Extensão - Ponto 7 - Y Axis		mm/mm	-5,97E-05
Extensão - Ponto 7 - Z Axis		mm/mm	3,81E-05
Extensão - Ponto 8 - X Axis		mm/mm	-2,51E-06
Extensão - Ponto 8 - Y Axis		mm/mm	-4,44E-05
Extensão - Ponto 8 - Z Axis		mm/mm	2,38E-05

Solicitação	46	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	773,97
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	-7,21E-05
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	1,21E-04
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	5,38E-05
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	-2,21E-05
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	1,58E-04
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	-6,68E-06
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	-3,88E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	2,17E-04
Extensão - Ponto 3 - Z Axis		mm/mm	-7,38E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis		mm/mm	-1,79E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis		mm/mm	1,58E-04
Extensão - Ponto 4 - Z Axis		mm/mm	-1,05E-05

Extensão - Ponto 5 - X Axis	mm/mm	-7,57E-05
Extensão - Ponto 5 - Y Axis	mm/mm	1,19E-04
Extensão - Ponto 5 - Z Axis	mm/mm	6,04E-05
Extensão - Ponto 6 - X Axis	mm/mm	-6,96E-07
Extensão - Ponto 6 - Y Axis	mm/mm	-1,37E-05
Extensão - Ponto 6 - Z Axis	mm/mm	3,00E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis	mm/mm	-4,07E-05
Extensão - Ponto 7 - Y Axis	mm/mm	-6,60E-05
Extensão - Ponto 7 - Z Axis	mm/mm	4,18E-05
Extensão - Ponto 8 - X Axis	mm/mm	1,08E-07
Extensão - Ponto 8 - Y Axis	mm/mm	-1,13E-05
Extensão - Ponto 8 - Z Axis	mm/mm	2,70E-05

Solicitação	47	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	737,75
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	-8,82E-05
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	1,67E-04
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	4,49E-05
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	-3,22E-05
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	1,71E-04
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	-1,60E-05
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	-3,48E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	2,11E-04
Extensão - Ponto 3 - Z Axis		mm/mm	-7,29E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis		mm/mm	-6,43E-06
Extensão - Ponto 4 - Y Axis		mm/mm	1,38E-04
Extensão - Ponto 4 - Z Axis		mm/mm	-4,89E-07
Extensão - Ponto 5 - X Axis		mm/mm	-5,62E-05
Extensão - Ponto 5 - Y Axis		mm/mm	7,13E-05
Extensão - Ponto 5 - Z Axis		mm/mm	6,32E-05
Extensão - Ponto 6 - X Axis		mm/mm	-3,25E-07
Extensão - Ponto 6 - Y Axis		mm/mm	-4,89E-05
Extensão - Ponto 6 - Z Axis		mm/mm	2,67E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis		mm/mm	-3,96E-05
Extensão - Ponto 7 - Y Axis		mm/mm	-6,03E-05
Extensão - Ponto 7 - Z Axis		mm/mm	3,90E-05
Extensão - Ponto 8 - X Axis		mm/mm	1,93E-06
Extensão - Ponto 8 - Y Axis		mm/mm	2,85E-05
Extensão - Ponto 8 - Z Axis		mm/mm	2,68E-05

Solicitação	48	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	722,54

Extensão - Ponto 1 - X Axis	mm/mm	-9,97E-05
Extensão - Ponto 1 - Y Axis	mm/mm	2,06E-04
Extensão - Ponto 1 - Z Axis	mm/mm	3,16E-05
Extensão - Ponto 2 - X Axis	mm/mm	-3,97E-05
Extensão - Ponto 2 - Y Axis	mm/mm	1,75E-04
Extensão - Ponto 2 - Z Axis	mm/mm	-2,45E-05
Extensão - Ponto 3 - X Axis	mm/mm	-2,63E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis	mm/mm	1,94E-04
Extensão - Ponto 3 - Z Axis	mm/mm	-6,92E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis	mm/mm	6,02E-06
Extensão - Ponto 4 - Y Axis	mm/mm	1,12E-04
Extensão - Ponto 4 - Z Axis	mm/mm	9,26E-06
Extensão - Ponto 5 - X Axis	mm/mm	-3,43E-05
Extensão - Ponto 5 - Y Axis	mm/mm	2,31E-05
Extensão - Ponto 5 - Z Axis	mm/mm	6,02E-05
Extensão - Ponto 6 - X Axis	mm/mm	-8,88E-07
Extensão - Ponto 6 - Y Axis	mm/mm	-7,46E-05
Extensão - Ponto 6 - Z Axis	mm/mm	1,99E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis	mm/mm	-3,48E-05
Extensão - Ponto 7 - Y Axis	mm/mm	-4,29E-05
Extensão - Ponto 7 - Z Axis	mm/mm	3,00E-05
Extensão - Ponto 8 - X Axis	mm/mm	2,83E-06
Extensão - Ponto 8 - Y Axis	mm/mm	7,22E-05
Extensão - Ponto 8 - Z Axis	mm/mm	2,33E-05

Solicitação	49	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	795,98
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	-1,06E-04
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	2,36E-04
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	1,46E-05
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	-4,41E-05
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	1,69E-04
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	-3,14E-05
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	-1,39E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	1,67E-04
Extensão - Ponto 3 - Z Axis		mm/mm	-6,30E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis		mm/mm	1,86E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis		mm/mm	8,06E-05
Extensão - Ponto 4 - Z Axis		mm/mm	1,81E-05
Extensão - Ponto 5 - X Axis		mm/mm	-1,15E-05
Extensão - Ponto 5 - Y Axis		mm/mm	-2,20E-05
Extensão - Ponto 5 - Z Axis		mm/mm	5,16E-05
Extensão - Ponto 6 - X Axis		mm/mm	-2,35E-06

Extensão - Ponto 6 - Y Axis	mm/mm	-8,91E-05
Extensão - Ponto 6 - Z Axis	mm/mm	1,01E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis	mm/mm	-2,65E-05
Extensão - Ponto 7 - Y Axis	mm/mm	-1,51E-05
Extensão - Ponto 7 - Z Axis	mm/mm	1,54E-05
Extensão - Ponto 8 - X Axis	mm/mm	2,74E-06
Extensão - Ponto 8 - Y Axis	mm/mm	1,17E-04
Extensão - Ponto 8 - Z Axis	mm/mm	1,66E-05

Solicitação	50	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	860,92
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	-1,07E-04
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	2,54E-04
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	-4,91E-06
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	-4,51E-05
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	1,54E-04
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	-3,64E-05
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	1,47E-06
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	1,33E-04
Extensão - Ponto 3 - Z Axis		mm/mm	-5,47E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis		mm/mm	3,06E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis		mm/mm	4,63E-05
Extensão - Ponto 4 - Z Axis		mm/mm	2,55E-05
Extensão - Ponto 5 - X Axis		mm/mm	1,07E-05
Extensão - Ponto 5 - Y Axis		mm/mm	-6,09E-05
Extensão - Ponto 5 - Z Axis		mm/mm	3,80E-05
Extensão - Ponto 6 - X Axis		mm/mm	-4,60E-06
Extensão - Ponto 6 - Y Axis		mm/mm	-9,14E-05
Extensão - Ponto 6 - Z Axis		mm/mm	-1,95E-06
Extensão - Ponto 7 - X Axis		mm/mm	-1,53E-05
Extensão - Ponto 7 - Y Axis		mm/mm	2,14E-05
Extensão - Ponto 7 - Z Axis		mm/mm	-3,87E-06
Extensão - Ponto 8 - X Axis		mm/mm	1,68E-06
Extensão - Ponto 8 - Y Axis		mm/mm	1,59E-04
Extensão - Ponto 8 - Z Axis		mm/mm	7,36E-06

Solicitação	51	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	939,38
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	-9,48E-05
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	2,57E-04
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	-3,92E-05
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	-3,92E-05

Extensão - Ponto 2 - Y Axis	mm/mm	1,13E-04
Extensão - Ponto 2 - Z Axis	mm/mm	-3,94E-05
Extensão - Ponto 3 - X Axis	mm/mm	3,10E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis	mm/mm	6,36E-05
Extensão - Ponto 3 - Z Axis	mm/mm	-3,79E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis	mm/mm	4,67E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis	mm/mm	-1,12E-05
Extensão - Ponto 4 - Z Axis	mm/mm	3,30E-05
Extensão - Ponto 5 - X Axis	mm/mm	4,22E-05
Extensão - Ponto 5 - Y Axis	mm/mm	-1,05E-04
Extensão - Ponto 5 - Z Axis	mm/mm	6,80E-06
Extensão - Ponto 6 - X Axis	mm/mm	-9,70E-06
Extensão - Ponto 6 - Y Axis	mm/mm	-6,82E-05
Extensão - Ponto 6 - Z Axis	mm/mm	-2,49E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis	mm/mm	7,58E-06
Extensão - Ponto 7 - Y Axis	mm/mm	9,42E-05
Extensão - Ponto 7 - Z Axis	mm/mm	-4,25E-05
Extensão - Ponto 8 - X Axis	mm/mm	-2,05E-06
Extensão - Ponto 8 - Y Axis	mm/mm	2,18E-04
Extensão - Ponto 8 - Z Axis	mm/mm	-1,22E-05

Solicitação	52	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	955,32
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	-7,47E-05
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	1,75E-04
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	-1,92E-05
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	-3,45E-05
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	9,04E-05
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	-3,35E-05
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	2,96E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	4,76E-05
Extensão - Ponto 3 - Z Axis		mm/mm	-3,16E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis		mm/mm	4,50E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis		mm/mm	-1,91E-05
Extensão - Ponto 4 - Z Axis		mm/mm	2,78E-05
Extensão - Ponto 5 - X Axis		mm/mm	4,63E-05
Extensão - Ponto 5 - Y Axis		mm/mm	-1,03E-04
Extensão - Ponto 5 - Z Axis		mm/mm	-4,63E-06
Extensão - Ponto 6 - X Axis		mm/mm	-4,13E-06
Extensão - Ponto 6 - Y Axis		mm/mm	-5,54E-05
Extensão - Ponto 6 - Z Axis		mm/mm	-2,43E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis		mm/mm	1,22E-05
Extensão - Ponto 7 - Y Axis		mm/mm	1,03E-04

Extensão - Ponto 7 - Z Axis	mm/mm	-4,80E-05
Extensão - Ponto 8 - X Axis	mm/mm	-6,36E-06
Extensão - Ponto 8 - Y Axis	mm/mm	1,99E-04
Extensão - Ponto 8 - Z Axis	mm/mm	-1,29E-05

Solicitação	53	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	866,18
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	1,79E-05
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	-3,19E-05
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	-1,17E-05
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	3,57E-05
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	8,17E-06
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	1,55E-05
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	3,99E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	5,77E-05
Extensão - Ponto 3 - Z Axis		mm/mm	-4,09E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis		mm/mm	-2,22E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis		mm/mm	8,95E-05
Extensão - Ponto 4 - Z Axis		mm/mm	-2,97E-05
Extensão - Ponto 5 - X Axis		mm/mm	-7,58E-05
Extensão - Ponto 5 - Y Axis		mm/mm	1,99E-04
Extensão - Ponto 5 - Z Axis		mm/mm	-3,03E-05
Extensão - Ponto 6 - X Axis		mm/mm	-2,02E-05
Extensão - Ponto 6 - Y Axis		mm/mm	2,12E-04
Extensão - Ponto 6 - Z Axis		mm/mm	-3,19E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis		mm/mm	1,56E-05
Extensão - Ponto 7 - Y Axis		mm/mm	1,33E-04
Extensão - Ponto 7 - Z Axis		mm/mm	-6,06E-05
Extensão - Ponto 8 - X Axis		mm/mm	-1,36E-05
Extensão - Ponto 8 - Y Axis		mm/mm	3,60E-06
Extensão - Ponto 8 - Z Axis		mm/mm	-3,05E-05

Solicitação	54	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	815,24
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	1,10E-05
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	-2,97E-05
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	3,71E-06
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	3,10E-05
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	2,47E-05
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	2,12E-05
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	2,03E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	9,26E-05

Extensão - Ponto 3 - Z Axis	mm/mm	-4,61E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis	mm/mm	-2,22E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis	mm/mm	1,08E-04
Extensão - Ponto 4 - Z Axis	mm/mm	-3,19E-05
Extensão - Ponto 5 - X Axis	mm/mm	-8,18E-05
Extensão - Ponto 5 - Y Axis	mm/mm	2,15E-04
Extensão - Ponto 5 - Z Axis	mm/mm	-2,67E-05
Extensão - Ponto 6 - X Axis	mm/mm	-1,69E-05
Extensão - Ponto 6 - Y Axis	mm/mm	1,93E-04
Extensão - Ponto 6 - Z Axis	mm/mm	-1,49E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis	mm/mm	1,14E-05
Extensão - Ponto 7 - Y Axis	mm/mm	1,04E-04
Extensão - Ponto 7 - Z Axis	mm/mm	-4,81E-05
Extensão - Ponto 8 - X Axis	mm/mm	-1,80E-05
Extensão - Ponto 8 - Y Axis	mm/mm	-8,55E-06
Extensão - Ponto 8 - Z Axis	mm/mm	-2,20E-05

Solicitação	55	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	738,01
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	-2,41E-06
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	-8,07E-06
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	1,49E-05
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	2,32E-05
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	4,97E-05
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	1,79E-05
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	8,90E-06
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	1,21E-04
Extensão - Ponto 3 - Z Axis		mm/mm	-5,32E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis		mm/mm	-2,38E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis		mm/mm	1,25E-04
Extensão - Ponto 4 - Z Axis		mm/mm	-3,03E-05
Extensão - Ponto 5 - X Axis		mm/mm	-8,63E-05
Extensão - Ponto 5 - Y Axis		mm/mm	2,12E-04
Extensão - Ponto 5 - Z Axis		mm/mm	-1,11E-05
Extensão - Ponto 6 - X Axis		mm/mm	-1,44E-05
Extensão - Ponto 6 - Y Axis		mm/mm	1,65E-04
Extensão - Ponto 6 - Z Axis		mm/mm	-6,23E-06
Extensão - Ponto 7 - X Axis		mm/mm	1,49E-06
Extensão - Ponto 7 - Y Axis		mm/mm	7,39E-05
Extensão - Ponto 7 - Z Axis		mm/mm	-3,19E-05
Extensão - Ponto 8 - X Axis		mm/mm	-1,53E-05
Extensão - Ponto 8 - Y Axis		mm/mm	-1,52E-05
Extensão - Ponto 8 - Z Axis		mm/mm	-1,32E-05

Solicitação	56	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	640,48
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	-1,75E-05
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	2,00E-05
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	2,32E-05
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	1,44E-05
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	7,46E-05
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	1,32E-05
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	-5,30E-07
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	1,45E-04
Extensão - Ponto 3 - Z Axis		mm/mm	-5,95E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis		mm/mm	-2,31E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis		mm/mm	1,36E-04
Extensão - Ponto 4 - Z Axis		mm/mm	-2,70E-05
Extensão - Ponto 5 - X Axis		mm/mm	-8,68E-05
Extensão - Ponto 5 - Y Axis		mm/mm	1,99E-04
Extensão - Ponto 5 - Z Axis		mm/mm	3,43E-06
Extensão - Ponto 6 - X Axis		mm/mm	-1,21E-05
Extensão - Ponto 6 - Y Axis		mm/mm	1,33E-04
Extensão - Ponto 6 - Z Axis		mm/mm	9,43E-07
Extensão - Ponto 7 - X Axis		mm/mm	-7,17E-06
Extensão - Ponto 7 - Y Axis		mm/mm	4,79E-05
Extensão - Ponto 7 - Z Axis		mm/mm	-1,79E-05
Extensão - Ponto 8 - X Axis		mm/mm	-1,27E-05
Extensão - Ponto 8 - Y Axis		mm/mm	-1,37E-05
Extensão - Ponto 8 - Z Axis		mm/mm	-5,39E-06

Solicitação	57	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	619,81
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	-3,32E-05
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	5,25E-05
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	2,82E-05
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	4,99E-06
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	9,76E-05
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	7,35E-06
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	-7,38E-06
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	1,64E-04
Extensão - Ponto 3 - Z Axis		mm/mm	-6,44E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis		mm/mm	-2,01E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis		mm/mm	1,40E-04
Extensão - Ponto 4 - Z Axis		mm/mm	-2,22E-05

Extensão - Ponto 5 - X Axis	mm/mm	-8,30E-05
Extensão - Ponto 5 - Y Axis	mm/mm	1,78E-04
Extensão - Ponto 5 - Z Axis	mm/mm	1,59E-05
Extensão - Ponto 6 - X Axis	mm/mm	-1,01E-05
Extensão - Ponto 6 - Y Axis	mm/mm	9,93E-05
Extensão - Ponto 6 - Z Axis	mm/mm	6,09E-06
Extensão - Ponto 7 - X Axis	mm/mm	-1,40E-05
Extensão - Ponto 7 - Y Axis	mm/mm	2,79E-05
Extensão - Ponto 7 - Z Axis	mm/mm	-7,08E-06
Extensão - Ponto 8 - X Axis	mm/mm	-1,01E-05
Extensão - Ponto 8 - Y Axis	mm/mm	-3,97E-06
Extensão - Ponto 8 - Z Axis	mm/mm	9,63E-07

Solicitação	58	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	636,37
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	-4,85E-05
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	8,73E-05
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	2,94E-05
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	-4,23E-06
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	1,17E-04
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	7,95E-07
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	-1,12E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	1,75E-04
Extensão - Ponto 3 - Z Axis		mm/mm	-6,77E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis		mm/mm	-1,50E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis		mm/mm	1,39E-04
Extensão - Ponto 4 - Z Axis		mm/mm	-1,62E-05
Extensão - Ponto 5 - X Axis		mm/mm	-7,53E-05
Extensão - Ponto 5 - Y Axis		mm/mm	1,51E-04
Extensão - Ponto 5 - Z Axis		mm/mm	2,54E-05
Extensão - Ponto 6 - X Axis		mm/mm	-8,66E-06
Extensão - Ponto 6 - Y Axis		mm/mm	6,66E-05
Extensão - Ponto 6 - Z Axis		mm/mm	8,85E-06
Extensão - Ponto 7 - X Axis		mm/mm	-1,86E-05
Extensão - Ponto 7 - Y Axis		mm/mm	1,52E-05
Extensão - Ponto 7 - Z Axis		mm/mm	-1,47E-07
Extensão - Ponto 8 - X Axis		mm/mm	-7,79E-06
Extensão - Ponto 8 - Y Axis		mm/mm	1,32E-05
Extensão - Ponto 8 - Z Axis		mm/mm	5,40E-06

Solicitação	59	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	630,83

Extensão - Ponto 1 - X Axis	mm/mm	-6,23E-05
Extensão - Ponto 1 - Y Axis	mm/mm	1,22E-04
Extensão - Ponto 1 - Z Axis	mm/mm	2,68E-05
Extensão - Ponto 2 - X Axis	mm/mm	-1,27E-05
Extensão - Ponto 2 - Y Axis	mm/mm	1,32E-04
Extensão - Ponto 2 - Z Axis	mm/mm	-6,03E-06
Extensão - Ponto 3 - X Axis	mm/mm	-1,17E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis	mm/mm	1,79E-04
Extensão - Ponto 3 - Z Axis	mm/mm	-6,90E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis	mm/mm	-8,24E-06
Extensão - Ponto 4 - Y Axis	mm/mm	1,31E-04
Extensão - Ponto 4 - Z Axis	mm/mm	-9,49E-06
Extensão - Ponto 5 - X Axis	mm/mm	-6,42E-05
Extensão - Ponto 5 - Y Axis	mm/mm	1,20E-04
Extensão - Ponto 5 - Z Axis	mm/mm	3,13E-05
Extensão - Ponto 6 - X Axis	mm/mm	-7,76E-06
Extensão - Ponto 6 - Y Axis	mm/mm	3,67E-05
Extensão - Ponto 6 - Z Axis	mm/mm	9,04E-06
Extensão - Ponto 7 - X Axis	mm/mm	-2,06E-05
Extensão - Ponto 7 - Y Axis	mm/mm	1,07E-05
Extensão - Ponto 7 - Z Axis	mm/mm	2,42E-06
Extensão - Ponto 8 - X Axis	mm/mm	-5,94E-06
Extensão - Ponto 8 - Y Axis	mm/mm	3,66E-05
Extensão - Ponto 8 - Z Axis	mm/mm	7,63E-06

Solicitação	60	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	603,63
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	-7,37E-05
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	1,54E-04
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	2,05E-05
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	-1,98E-05
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	1,41E-04
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	-1,26E-05
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	-8,80E-06
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	1,75E-04
Extensão - Ponto 3 - Z Axis		mm/mm	-6,83E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis		mm/mm	-1,52E-07
Extensão - Ponto 4 - Y Axis		mm/mm	1,17E-04
Extensão - Ponto 4 - Z Axis		mm/mm	-2,42E-06
Extensão - Ponto 5 - X Axis		mm/mm	-5,04E-05
Extensão - Ponto 5 - Y Axis		mm/mm	8,59E-05
Extensão - Ponto 5 - Z Axis		mm/mm	3,33E-05
Extensão - Ponto 6 - X Axis		mm/mm	-7,50E-06

Extensão - Ponto 6 - Y Axis	mm/mm	1,19E-05
Extensão - Ponto 6 - Z Axis	mm/mm	6,66E-06
Extensão - Ponto 7 - X Axis	mm/mm	-1,98E-05
Extensão - Ponto 7 - Y Axis	mm/mm	1,47E-05
Extensão - Ponto 7 - Z Axis	mm/mm	4,58E-07
Extensão - Ponto 8 - X Axis	mm/mm	-4,65E-06
Extensão - Ponto 8 - Y Axis	mm/mm	6,47E-05
Extensão - Ponto 8 - Z Axis	mm/mm	7,49E-06

Solicitação	61	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	605,91
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	-8,19E-05
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	1,82E-04
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	1,11E-05
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	-2,51E-05
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	1,43E-04
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	-1,86E-05
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	-2,79E-06
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	1,63E-04
Extensão - Ponto 3 - Z Axis		mm/mm	-6,57E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis		mm/mm	8,65E-06
Extensão - Ponto 4 - Y Axis		mm/mm	9,85E-05
Extensão - Ponto 4 - Z Axis		mm/mm	4,48E-06
Extensão - Ponto 5 - X Axis		mm/mm	-3,50E-05
Extensão - Ponto 5 - Y Axis		mm/mm	5,19E-05
Extensão - Ponto 5 - Z Axis		mm/mm	3,12E-05
Extensão - Ponto 6 - X Axis		mm/mm	-7,89E-06
Extensão - Ponto 6 - Y Axis		mm/mm	-6,33E-06
Extensão - Ponto 6 - Z Axis		mm/mm	1,85E-06
Extensão - Ponto 7 - X Axis		mm/mm	-1,64E-05
Extensão - Ponto 7 - Y Axis		mm/mm	2,70E-05
Extensão - Ponto 7 - Z Axis		mm/mm	-5,91E-06
Extensão - Ponto 8 - X Axis		mm/mm	-4,02E-06
Extensão - Ponto 8 - Y Axis		mm/mm	9,56E-05
Extensão - Ponto 8 - Z Axis		mm/mm	4,99E-06

Solicitação	62	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	667,75
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	-8,63E-05
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	2,03E-04
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	-9,50E-07
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	-2,82E-05

Extensão - Ponto 2 - Y Axis	mm/mm	1,39E-04
Extensão - Ponto 2 - Z Axis	mm/mm	-2,35E-05
Extensão - Ponto 3 - X Axis	mm/mm	5,96E-06
Extensão - Ponto 3 - Y Axis	mm/mm	1,44E-04
Extensão - Ponto 3 - Z Axis	mm/mm	-6,14E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis	mm/mm	1,76E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis	mm/mm	7,63E-05
Extensão - Ponto 4 - Z Axis	mm/mm	1,07E-05
Extensão - Ponto 5 - X Axis	mm/mm	-1,88E-05
Extensão - Ponto 5 - Y Axis	mm/mm	2,00E-05
Extensão - Ponto 5 - Z Axis	mm/mm	2,51E-05
Extensão - Ponto 6 - X Axis	mm/mm	-8,93E-06
Extensão - Ponto 6 - Y Axis	mm/mm	-1,66E-05
Extensão - Ponto 6 - Z Axis	mm/mm	-5,05E-06
Extensão - Ponto 7 - X Axis	mm/mm	-1,05E-05
Extensão - Ponto 7 - Y Axis	mm/mm	4,67E-05
Extensão - Ponto 7 - Z Axis	mm/mm	-1,63E-05
Extensão - Ponto 8 - X Axis	mm/mm	-4,08E-06
Extensão - Ponto 8 - Y Axis	mm/mm	1,27E-04
Extensão - Ponto 8 - Z Axis	mm/mm	3,00E-07

Solicitação	63	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	734,08
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	-8,67E-05
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	2,16E-04
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	-1,47E-05
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	-2,90E-05
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	1,29E-04
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	-2,70E-05
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	1,69E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	1,20E-04
Extensão - Ponto 3 - Z Axis		mm/mm	-5,55E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis		mm/mm	2,60E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis		mm/mm	5,21E-05
Extensão - Ponto 4 - Z Axis		mm/mm	1,59E-05
Extensão - Ponto 5 - X Axis		mm/mm	-3,15E-06
Extensão - Ponto 5 - Y Axis		mm/mm	-7,56E-06
Extensão - Ponto 5 - Z Axis		mm/mm	1,55E-05
Extensão - Ponto 6 - X Axis		mm/mm	-1,05E-05
Extensão - Ponto 6 - Y Axis		mm/mm	-1,82E-05
Extensão - Ponto 6 - Z Axis		mm/mm	-1,36E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis		mm/mm	-2,63E-06
Extensão - Ponto 7 - Y Axis		mm/mm	7,25E-05

Extensão - Ponto 7 - Z Axis	mm/mm	-2,99E-05
Extensão - Ponto 8 - X Axis	mm/mm	-4,83E-06
Extensão - Ponto 8 - Y Axis	mm/mm	1,57E-04
Extensão - Ponto 8 - Z Axis	mm/mm	-6,25E-06

Solicitação	64	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	847,64
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	-7,83E-05
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	2,18E-04
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	-3,90E-05
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	-2,48E-05
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	9,98E-05
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	-2,92E-05
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	3,77E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	7,10E-05
Extensão - Ponto 3 - Z Axis		mm/mm	-4,36E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis		mm/mm	3,74E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis		mm/mm	1,15E-05
Extensão - Ponto 4 - Z Axis		mm/mm	2,13E-05
Extensão - Ponto 5 - X Axis		mm/mm	1,92E-05
Extensão - Ponto 5 - Y Axis		mm/mm	-3,88E-05
Extensão - Ponto 5 - Z Axis		mm/mm	-6,57E-06
Extensão - Ponto 6 - X Axis		mm/mm	-1,41E-05
Extensão - Ponto 6 - Y Axis		mm/mm	-1,81E-06
Extensão - Ponto 6 - Z Axis		mm/mm	-2,98E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis		mm/mm	1,36E-05
Extensão - Ponto 7 - Y Axis		mm/mm	1,24E-04
Extensão - Ponto 7 - Z Axis		mm/mm	-5,72E-05
Extensão - Ponto 8 - X Axis		mm/mm	-7,46E-06
Extensão - Ponto 8 - Y Axis		mm/mm	1,99E-04
Extensão - Ponto 8 - Z Axis		mm/mm	-2,01E-05

Solicitação	65	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	858,36
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	-6,22E-05
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	1,48E-04
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	-2,03E-05
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	-2,14E-05
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	8,32E-05
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	-2,59E-05
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	3,72E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	5,81E-05

Extensão - Ponto 3 - Z Axis	mm/mm	-3,93E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis	mm/mm	3,44E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis	mm/mm	6,82E-06
Extensão - Ponto 4 - Z Axis	mm/mm	1,70E-05
Extensão - Ponto 5 - X Axis	mm/mm	2,12E-05
Extensão - Ponto 5 - Y Axis	mm/mm	-3,93E-05
Extensão - Ponto 5 - Z Axis	mm/mm	-1,23E-05
Extensão - Ponto 6 - X Axis	mm/mm	-9,11E-06
Extensão - Ponto 6 - Y Axis	mm/mm	7,18E-06
Extensão - Ponto 6 - Z Axis	mm/mm	-3,03E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis	mm/mm	1,51E-05
Extensão - Ponto 7 - Y Axis	mm/mm	1,28E-04
Extensão - Ponto 7 - Z Axis	mm/mm	-5,93E-05
Extensão - Ponto 8 - X Axis	mm/mm	-9,33E-06
Extensão - Ponto 8 - Y Axis	mm/mm	1,79E-04
Extensão - Ponto 8 - Z Axis	mm/mm	-1,97E-05

Solicitação	66	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	709,26
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	-3,96E-06
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	1,82E-05
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	-1,56E-05
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	2,27E-05
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	3,15E-05
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	4,89E-06
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	4,37E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	6,45E-05
Extensão - Ponto 3 - Z Axis		mm/mm	-4,52E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis		mm/mm	-7,85E-06
Extensão - Ponto 4 - Y Axis		mm/mm	7,51E-05
Extensão - Ponto 4 - Z Axis		mm/mm	-1,91E-05
Extensão - Ponto 5 - X Axis		mm/mm	-5,56E-05
Extensão - Ponto 5 - Y Axis		mm/mm	1,51E-04
Extensão - Ponto 5 - Z Axis		mm/mm	-2,84E-05
Extensão - Ponto 6 - X Axis		mm/mm	-1,92E-05
Extensão - Ponto 6 - Y Axis		mm/mm	1,75E-04
Extensão - Ponto 6 - Z Axis		mm/mm	-3,51E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis		mm/mm	1,72E-05
Extensão - Ponto 7 - Y Axis		mm/mm	1,47E-04
Extensão - Ponto 7 - Z Axis		mm/mm	-6,72E-05
Extensão - Ponto 8 - X Axis		mm/mm	-1,39E-05
Extensão - Ponto 8 - Y Axis		mm/mm	5,66E-05
Extensão - Ponto 8 - Z Axis		mm/mm	-3,08E-05

Solicitação	67	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	682,87
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	-1,03E-05
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	3,58E-05
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	-1,40E-05
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	2,02E-05
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	4,08E-05
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	9,16E-06
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	3,29E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	8,47E-05
Extensão - Ponto 3 - Z Axis		mm/mm	-4,76E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis		mm/mm	-5,28E-06
Extensão - Ponto 4 - Y Axis		mm/mm	8,34E-05
Extensão - Ponto 4 - Z Axis		mm/mm	-1,94E-05
Extensão - Ponto 5 - X Axis		mm/mm	-5,74E-05
Extensão - Ponto 5 - Y Axis		mm/mm	1,62E-04
Extensão - Ponto 5 - Z Axis		mm/mm	-2,99E-05
Extensão - Ponto 6 - X Axis		mm/mm	-1,90E-05
Extensão - Ponto 6 - Y Axis		mm/mm	1,66E-04
Extensão - Ponto 6 - Z Axis		mm/mm	-2,50E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis		mm/mm	1,75E-05
Extensão - Ponto 7 - Y Axis		mm/mm	1,35E-04
Extensão - Ponto 7 - Z Axis		mm/mm	-6,32E-05
Extensão - Ponto 8 - X Axis		mm/mm	-1,78E-05
Extensão - Ponto 8 - Y Axis		mm/mm	5,86E-05
Extensão - Ponto 8 - Z Axis		mm/mm	-2,76E-05

Solicitação	68	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	642,72
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	-1,73E-05
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	4,70E-05
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	-8,20E-06
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	1,62E-05
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	5,38E-05
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	7,45E-06
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	2,70E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	9,93E-05
Extensão - Ponto 3 - Z Axis		mm/mm	-5,13E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis		mm/mm	-6,12E-06
Extensão - Ponto 4 - Y Axis		mm/mm	9,19E-05
Extensão - Ponto 4 - Z Axis		mm/mm	-1,86E-05

Extensão - Ponto 5 - X Axis	mm/mm	-5,98E-05
Extensão - Ponto 5 - Y Axis	mm/mm	1,60E-04
Extensão - Ponto 5 - Z Axis	mm/mm	-2,18E-05
Extensão - Ponto 6 - X Axis	mm/mm	-1,77E-05
Extensão - Ponto 6 - Y Axis	mm/mm	1,51E-04
Extensão - Ponto 6 - Z Axis	mm/mm	-2,05E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis	mm/mm	1,24E-05
Extensão - Ponto 7 - Y Axis	mm/mm	1,19E-04
Extensão - Ponto 7 - Z Axis	mm/mm	-5,49E-05
Extensão - Ponto 8 - X Axis	mm/mm	-1,65E-05
Extensão - Ponto 8 - Y Axis	mm/mm	5,52E-05
Extensão - Ponto 8 - Z Axis	mm/mm	-2,30E-05

Solicitação	69	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	592,01
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	-2,51E-05
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	6,16E-05
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	-3,89E-06
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	1,16E-05
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	6,66E-05
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	4,99E-06
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	2,21E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	1,12E-04
Extensão - Ponto 3 - Z Axis		mm/mm	-5,46E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis		mm/mm	-5,75E-06
Extensão - Ponto 4 - Y Axis		mm/mm	9,75E-05
Extensão - Ponto 4 - Z Axis		mm/mm	-1,69E-05
Extensão - Ponto 5 - X Axis		mm/mm	-6,00E-05
Extensão - Ponto 5 - Y Axis		mm/mm	1,53E-04
Extensão - Ponto 5 - Z Axis		mm/mm	-1,43E-05
Extensão - Ponto 6 - X Axis		mm/mm	-1,65E-05
Extensão - Ponto 6 - Y Axis		mm/mm	1,34E-04
Extensão - Ponto 6 - Z Axis		mm/mm	-1,68E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis		mm/mm	7,89E-06
Extensão - Ponto 7 - Y Axis		mm/mm	1,06E-04
Extensão - Ponto 7 - Z Axis		mm/mm	-4,76E-05
Extensão - Ponto 8 - X Axis		mm/mm	-1,51E-05
Extensão - Ponto 8 - Y Axis		mm/mm	5,60E-05
Extensão - Ponto 8 - Z Axis		mm/mm	-1,90E-05

Solicitação	70	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	534,16

Extensão - Ponto 1 - X Axis	mm/mm	-3,32E-05
Extensão - Ponto 1 - Y Axis	mm/mm	7,84E-05
Extensão - Ponto 1 - Z Axis	mm/mm	-1,33E-06
Extensão - Ponto 2 - X Axis	mm/mm	6,74E-06
Extensão - Ponto 2 - Y Axis	mm/mm	7,85E-05
Extensão - Ponto 2 - Z Axis	mm/mm	1,97E-06
Extensão - Ponto 3 - X Axis	mm/mm	1,85E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis	mm/mm	1,22E-04
Extensão - Ponto 3 - Z Axis	mm/mm	-5,71E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis	mm/mm	-4,20E-06
Extensão - Ponto 4 - Y Axis	mm/mm	1,00E-04
Extensão - Ponto 4 - Z Axis	mm/mm	-1,44E-05
Extensão - Ponto 5 - X Axis	mm/mm	-5,81E-05
Extensão - Ponto 5 - Y Axis	mm/mm	1,43E-04
Extensão - Ponto 5 - Z Axis	mm/mm	-7,89E-06
Extensão - Ponto 6 - X Axis	mm/mm	-1,55E-05
Extensão - Ponto 6 - Y Axis	mm/mm	1,17E-04
Extensão - Ponto 6 - Z Axis	mm/mm	-1,41E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis	mm/mm	4,35E-06
Extensão - Ponto 7 - Y Axis	mm/mm	9,56E-05
Extensão - Ponto 7 - Z Axis	mm/mm	-4,20E-05
Extensão - Ponto 8 - X Axis	mm/mm	-1,37E-05
Extensão - Ponto 8 - Y Axis	mm/mm	6,10E-05
Extensão - Ponto 8 - Z Axis	mm/mm	-1,57E-05

Solicitação	71	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	473,11
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	-4,11E-05
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	9,64E-05
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	-7,01E-07
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	1,97E-06
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	8,86E-05
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	-1,43E-06
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	1,66E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	1,28E-04
Extensão - Ponto 3 - Z Axis		mm/mm	-5,88E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis		mm/mm	-1,57E-06
Extensão - Ponto 4 - Y Axis		mm/mm	9,92E-05
Extensão - Ponto 4 - Z Axis		mm/mm	-1,13E-05
Extensão - Ponto 5 - X Axis		mm/mm	-5,41E-05
Extensão - Ponto 5 - Y Axis		mm/mm	1,29E-04
Extensão - Ponto 5 - Z Axis		mm/mm	-2,96E-06
Extensão - Ponto 6 - X Axis		mm/mm	-1,48E-05

Extensão - Ponto 6 - Y Axis	mm/mm	1,00E-04
Extensão - Ponto 6 - Z Axis	mm/mm	-1,27E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis	mm/mm	1,99E-06
Extensão - Ponto 7 - Y Axis	mm/mm	8,90E-05
Extensão - Ponto 7 - Z Axis	mm/mm	-3,84E-05
Extensão - Ponto 8 - X Axis	mm/mm	-1,25E-05
Extensão - Ponto 8 - Y Axis	mm/mm	6,98E-05
Extensão - Ponto 8 - Z Axis	mm/mm	-1,34E-05

Solicitação	72	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	445,66
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	-4,83E-05
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	1,14E-04
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	-2,05E-06
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	-2,41E-06
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	9,62E-05
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	-4,96E-06
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	1,63E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	1,30E-04
Extensão - Ponto 3 - Z Axis		mm/mm	-5,95E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis		mm/mm	1,95E-06
Extensão - Ponto 4 - Y Axis		mm/mm	9,51E-05
Extensão - Ponto 4 - Z Axis		mm/mm	-7,85E-06
Extensão - Ponto 5 - X Axis		mm/mm	-4,83E-05
Extensão - Ponto 5 - Y Axis		mm/mm	1,12E-04
Extensão - Ponto 5 - Z Axis		mm/mm	1,26E-07
Extensão - Ponto 6 - X Axis		mm/mm	-1,43E-05
Extensão - Ponto 6 - Y Axis		mm/mm	8,46E-05
Extensão - Ponto 6 - Z Axis		mm/mm	-1,26E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis		mm/mm	9,64E-07
Extensão - Ponto 7 - Y Axis		mm/mm	8,67E-05
Extensão - Ponto 7 - Z Axis		mm/mm	-3,71E-05
Extensão - Ponto 8 - X Axis		mm/mm	-1,16E-05
Extensão - Ponto 8 - Y Axis		mm/mm	8,20E-05
Extensão - Ponto 8 - Z Axis		mm/mm	-1,23E-05

Solicitação	73	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	471,16
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	-5,41E-05
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	1,31E-04
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	-5,28E-06
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	-6,10E-06

Extensão - Ponto 2 - Y Axis	mm/mm	1,01E-04
Extensão - Ponto 2 - Z Axis	mm/mm	-8,38E-06
Extensão - Ponto 3 - X Axis	mm/mm	1,78E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis	mm/mm	1,27E-04
Extensão - Ponto 3 - Z Axis	mm/mm	-5,91E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis	mm/mm	6,14E-06
Extensão - Ponto 4 - Y Axis	mm/mm	8,80E-05
Extensão - Ponto 4 - Z Axis	mm/mm	-4,19E-06
Extensão - Ponto 5 - X Axis	mm/mm	-4,12E-05
Extensão - Ponto 5 - Y Axis	mm/mm	9,47E-05
Extensão - Ponto 5 - Z Axis	mm/mm	1,15E-06
Extensão - Ponto 6 - X Axis	mm/mm	-1,42E-05
Extensão - Ponto 6 - Y Axis	mm/mm	7,18E-05
Extensão - Ponto 6 - Z Axis	mm/mm	-1,38E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis	mm/mm	1,35E-06
Extensão - Ponto 7 - Y Axis	mm/mm	8,88E-05
Extensão - Ponto 7 - Z Axis	mm/mm	-3,81E-05
Extensão - Ponto 8 - X Axis	mm/mm	-1,09E-05
Extensão - Ponto 8 - Y Axis	mm/mm	9,65E-05
Extensão - Ponto 8 - Z Axis	mm/mm	-1,23E-05

Solicitação	74	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	531,73
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	-5,84E-05
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	1,45E-04
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	-1,02E-05
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	-8,85E-06
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	1,02E-04
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	-1,15E-05
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	2,09E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	1,21E-04
Extensão - Ponto 3 - Z Axis		mm/mm	-5,78E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis		mm/mm	1,07E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis		mm/mm	7,84E-05
Extensão - Ponto 4 - Z Axis		mm/mm	-6,18E-07
Extensão - Ponto 5 - X Axis		mm/mm	-3,32E-05
Extensão - Ponto 5 - Y Axis		mm/mm	7,71E-05
Extensão - Ponto 5 - Z Axis		mm/mm	5,51E-08
Extensão - Ponto 6 - X Axis		mm/mm	-1,44E-05
Extensão - Ponto 6 - Y Axis		mm/mm	6,24E-05
Extensão - Ponto 6 - Z Axis		mm/mm	-1,63E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis		mm/mm	3,12E-06
Extensão - Ponto 7 - Y Axis		mm/mm	9,51E-05

Extensão - Ponto 7 - Z Axis	mm/mm	-4,14E-05
Extensão - Ponto 8 - X Axis	mm/mm	-1,06E-05
Extensão - Ponto 8 - Y Axis	mm/mm	1,13E-04
Extensão - Ponto 8 - Z Axis	mm/mm	-1,36E-05

Solicitação	75	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	591,99
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	-6,10E-05
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	1,57E-04
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	-1,65E-05
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	-1,07E-05
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	1,00E-04
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	-1,42E-05
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	2,55E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	1,11E-04
Extensão - Ponto 3 - Z Axis		mm/mm	-5,55E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis		mm/mm	1,55E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis		mm/mm	6,66E-05
Extensão - Ponto 4 - Z Axis		mm/mm	2,80E-06
Extensão - Ponto 5 - X Axis		mm/mm	-2,45E-05
Extensão - Ponto 5 - Y Axis		mm/mm	5,97E-05
Extensão - Ponto 5 - Z Axis		mm/mm	-2,99E-06
Extensão - Ponto 6 - X Axis		mm/mm	-1,49E-05
Extensão - Ponto 6 - Y Axis		mm/mm	5,63E-05
Extensão - Ponto 6 - Z Axis		mm/mm	-1,99E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis		mm/mm	6,14E-06
Extensão - Ponto 7 - Y Axis		mm/mm	1,05E-04
Extensão - Ponto 7 - Z Axis		mm/mm	-4,68E-05
Extensão - Ponto 8 - X Axis		mm/mm	-1,06E-05
Extensão - Ponto 8 - Y Axis		mm/mm	1,30E-04
Extensão - Ponto 8 - Z Axis		mm/mm	-1,60E-05

Solicitação	76	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	639,33
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	-6,09E-05
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	1,63E-04
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	-2,35E-05
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	-1,08E-05
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	9,47E-05
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	-1,58E-05
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	3,11E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	9,87E-05

Extensão - Ponto 3 - Z Axis	mm/mm	-5,25E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis	mm/mm	1,97E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis	mm/mm	5,43E-05
Extensão - Ponto 4 - Z Axis	mm/mm	5,31E-06
Extensão - Ponto 5 - X Axis	mm/mm	-1,68E-05
Extensão - Ponto 5 - Y Axis	mm/mm	4,63E-05
Extensão - Ponto 5 - Z Axis	mm/mm	-8,08E-06
Extensão - Ponto 6 - X Axis	mm/mm	-1,57E-05
Extensão - Ponto 6 - Y Axis	mm/mm	5,62E-05
Extensão - Ponto 6 - Z Axis	mm/mm	-2,43E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis	mm/mm	1,02E-05
Extensão - Ponto 7 - Y Axis	mm/mm	1,19E-04
Extensão - Ponto 7 - Z Axis	mm/mm	-5,38E-05
Extensão - Ponto 8 - X Axis	mm/mm	-1,10E-05
Extensão - Ponto 8 - Y Axis	mm/mm	1,44E-04
Extensão - Ponto 8 - Z Axis	mm/mm	-1,94E-05

Solicitação	77	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	698,40
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	-5,66E-05
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	1,64E-04
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	-3,61E-05
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	-8,66E-06
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	7,96E-05
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	-1,69E-05
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	4,19E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	7,34E-05
Extensão - Ponto 3 - Z Axis		mm/mm	-4,63E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis		mm/mm	2,56E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis		mm/mm	3,33E-05
Extensão - Ponto 4 - Z Axis		mm/mm	8,09E-06
Extensão - Ponto 5 - X Axis		mm/mm	-5,21E-06
Extensão - Ponto 5 - Y Axis		mm/mm	3,01E-05
Extensão - Ponto 5 - Z Axis		mm/mm	-1,95E-05
Extensão - Ponto 6 - X Axis		mm/mm	-1,76E-05
Extensão - Ponto 6 - Y Axis		mm/mm	6,47E-05
Extensão - Ponto 6 - Z Axis		mm/mm	-3,26E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis		mm/mm	1,86E-05
Extensão - Ponto 7 - Y Axis		mm/mm	1,45E-04
Extensão - Ponto 7 - Z Axis		mm/mm	-6,80E-05
Extensão - Ponto 8 - X Axis		mm/mm	-1,24E-05
Extensão - Ponto 8 - Y Axis		mm/mm	1,66E-04
Extensão - Ponto 8 - Z Axis		mm/mm	-2,66E-05

Solicitação	78	Unidades	Resultados Obtidos
			Pré-Refinamento de malha
Tensão Máxima		MPa	703,11
Extensão - Ponto 1 - X Axis		mm/mm	-4,54E-05
Extensão - Ponto 1 - Y Axis		mm/mm	1,11E-04
Extensão - Ponto 1 - Z Axis		mm/mm	-2,01E-05
Extensão - Ponto 2 - X Axis		mm/mm	-6,80E-06
Extensão - Ponto 2 - Y Axis		mm/mm	7,04E-05
Extensão - Ponto 2 - Z Axis		mm/mm	-1,65E-05
Extensão - Ponto 3 - X Axis		mm/mm	4,23E-05
Extensão - Ponto 3 - Y Axis		mm/mm	6,47E-05
Extensão - Ponto 3 - Z Axis		mm/mm	-4,43E-05
Extensão - Ponto 4 - X Axis		mm/mm	2,14E-05
Extensão - Ponto 4 - Y Axis		mm/mm	3,23E-05
Extensão - Ponto 4 - Z Axis		mm/mm	5,03E-06
Extensão - Ponto 5 - X Axis		mm/mm	-5,32E-06
Extensão - Ponto 5 - Y Axis		mm/mm	2,74E-05
Extensão - Ponto 5 - Z Axis		mm/mm	-1,91E-05
Extensão - Ponto 6 - X Axis		mm/mm	-1,35E-05
Extensão - Ponto 6 - Y Axis		mm/mm	6,93E-05
Extensão - Ponto 6 - Z Axis		mm/mm	-3,43E-05
Extensão - Ponto 7 - X Axis		mm/mm	1,70E-05
Extensão - Ponto 7 - Y Axis		mm/mm	1,44E-04
Extensão - Ponto 7 - Z Axis		mm/mm	-6,65E-05
Extensão - Ponto 8 - X Axis		mm/mm	-1,17E-05
Extensão - Ponto 8 - Y Axis		mm/mm	1,48E-04
Extensão - Ponto 8 - Z Axis		mm/mm	-2,52E-05

Tabela 25 - Componentes para elaboração de sistemas de monitorização autonomos, para estruturas portuarias inteligentes.

Sensores						
Extensômetros	Empresa	Modelo	Resistência (Ω)	Volt Max. (V)	Gauge Factor	
	HBM	1- LY11- 3/120	120	4	2	
	HBM	1- LY11- 3/120 A	120	4	2	

	HBM	1-LY11-6/120	120	8	2		
	HBM	1-LY11-6/120 A	120	8	2		
Sensores de proximidade ultrassônicos	Modelo	Alcance	Frequência (kHz)	Resolução	Alimentação (V)	Consumo (mA)	Consumo em uso (W)
	HC-SR04	2cm a 5m	40kHz	0,3 cm	5	15	0,075
	HY-SRF05	2cm a 4m	40kHz	0,3 cm	5	2	0,01
Sensor de distância laser	Modelo	Alcance	Resolução	Alimentação (V)	Consumo em uso(W)		
	UART/CAN BUS	1,5cm a 5m	1 mm	5,2	0,90		
Conversores Analógico-Digital (ADC)							
Modelo	Bits	Canais	Alimentação (V)	Faixa de tensão (V)	Corrente Max (mA)	Consumo em uso(W)	
ADS1263	32	10	5	-2,5 a 5	6,5	0,03	
AD7606	16	8	5,25	-10 a 10	27	0,14	
ADS1115	16	4	3,3-5	0-5	3	0,016	
Painéis Solares							
Referencia	Potencia (W)	Corrente Max (mA)	Volt Máx (V)	Tamanho (mm)			
FAL09022	20	1120	18,2	435x356x25			
FAL09010	10	580	17,49	290x330x25			
FAL09020	5	280	18,2	251x186x18			
FAL09019	3	170	18,2	251x140x17			
FAL01009	3	540	5	160x138x2,5			
Baterias							
Referencia	Volts	Capacidade (mAH)	Tamanho (mm)				
BAT01059	12	22000	181,5x77x168				
BAT01031	12	2400	178x35x61				
BAT01040	3,7	4000	80,5x50,5x8,5				

Gestor de carga (Painéis)						
Referencia	Tensão da bateria	Consumo (mA)	Corrente de carga (A)	Tamanho (mm)		
FAL09014	12/24V	Até 10	10mA	133x70x34		
FAL09035	12/24V	Até 30	10mA	133x70x32		
FAL09009	12/24V	Até 10	6mA	101,2x67x21,8		
FAL08030	4,4 a 6V	1	1mA	33x63		
Gestor de carga (Baterias)						
Referencia	Tensão de saída (V)	Corrente de saída (A)	Tensão de Alimentação (V)			
FAL01003	5	1	6,5 a 36			
Microcontrolador						
Referencia	Tipo	Flash Memory (KB)	SRAM (KB)	Clock Speed (MHz)	Digital I/O pins	Analog IN Pins
ARD02005	Arduino	256	8	16	54	16