



TÉCNICO
LISBOA



Projeto de Duas Cadeiras de Rodas para a Praia

Sara Ramos Couto Pinto

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Mecânica

Orientador(es): Prof. Luís Filipe Galvão dos Reis

Prof. Miguel António Lopes de Matos Neves

Júri

Presidente: Prof. João Orlando Marques Gameiro Folgado

Orientador: Prof. Luís Filipe Galvão dos Reis

Vogal(is): Prof. Aurélio Lima Araújo

Novembro 2019

Agradecimentos

Em primeiro lugar, aos meus orientadores, Professores Doutores Luís Filipe Galvão dos Reis e Miguel António Lopes de Matos Neves, por toda a disponibilidade, auxílio e incentivo demonstrados ao longo do projeto. Agradeço também pela oportunidade de desenvolver o projeto final num tema tão solidário e enriquecedor.

À associação MMM, por requisitar este projeto, permitindo o seu desenvolvimento.

Ao meu colega e recente graduado Luís Brazão, pela colaboração e disponibilidade demonstrada desde o início deste projeto.

À minha família, pais e irmão, pelo apoio e principalmente motivação, a qual me permitiu a realização do projeto de forma segura e organizada.

Aos meus amigos, pelo apoio e compreensão demonstrados nesta fase do percurso escolar.

Um agradecimento especial às seguintes associações, grupos e páginas de Facebook, sem as quais a divulgação do questionário desenvolvido não teria sido possível: APD; MMM; Núcleo de Inclusão, Comunicação e Media; Viver Eficiente; Casadaptada; Adaptar Portugal; João Sobre Rodas; O Céu é o Limite – Sociedade para Todos; Associação O Dom Maior; Mães & Cuidadores Informais; Um Deficiente não chega “aqui”!.

Agradeço em particular à Sofia Costa (representante dos grupos Adaptar Portugal e Um Deficiente não chega “aqui”!), à Sofia Pires (presidente do grupo Núcleo de Inclusão, Comunicação e Media), à Mónica Afonso (representante do grupo O Céu é o Limite – Sociedade para Todos) e ao Dr. Paulo Rosa (representante da Associação O Dom Maior), pelo auxílio pessoal prestado na fase de divulgação do questionário online.

Adicionalmente, um agradecimento particular e especial à Carolina Lagartinho de Oliveira e sua família, pela partilha da sua experiência pessoal e auxílio na divulgação do questionário.

Esta dissertação é dedicada à minha avó materna, cuja infeliz e recente experiência pessoal me sensibilizou particularmente no tema e me motivou no desenvolvimento deste projeto.

Por fim, um agradecimento ao Instituto Superior Técnico e aos seus docentes, pela formação e evolução que pude obter, tanto a nível intelectual, como profissional e emocional.

Resumo

Esta dissertação aborda o tema da mobilidade reduzida nas praias e os obstáculos com que os indivíduos com esta incapacidade se deparam nestes meios, pretendendo o desenvolvimento de uma nova solução para facilitar o quotidiano nestes locais e torná-los mais acessíveis.

Após o projeto *More Moving Moments* da associação MMM, cujo objetivo consiste na criação e disponibilização nas praias de cadeiras de praia para crianças, seguiu-se o projeto de tese de mestrado do aluno do IST Luís Brazão, no qual se desenvolveu uma nova cadeira com dimensões e capacidades específicas para um adulto. No entanto, dada a simplicidade destes modelos, surge um novo projeto desenvolvido nesta dissertação: a criação de uma cadeira de melhor desempenho e qualidade.

Este novo projeto segue duas abordagens: projeto de uma cadeira pública e projeto de uma cadeira pessoal. Inicialmente é apresentado um pequeno estudo de mercado, identificando as principais características de uma cadeira de rodas de praia e quais destas são consideradas mais importantes para os utilizadores. Por forma a obter informação coerente e correta, é desenvolvido um questionário online que aborda estas mesmas características, permitindo identificar os principais problemas existentes e quais as melhorias a implementar. Após este primeiro estudo, segue-se o principal foco desta dissertação, que consiste no desenvolvimento de novas soluções, identificando os principais mecanismos e materiais a utilizar. É também realizada uma análise estrutural a cada um dos modelos finais.

Palavras-chave: cadeira de rodas de praia; praias acessíveis; mobilidade reduzida; projeto mecânico; mecanismos; análise estrutural

Abstract

The theme of this master's degree thesis is the reduced mobility on the beaches and the obstacles the incapacitated individuals face. In order to improve the quality of life for those people and make the beaches more accessible, a new solution is requested.

After MMM's project *More Moving Moments*, whose purpose consists on developing a beach wheelchair for children and provide it freely on the beaches, a new project followed. It was Luís Brazão, student at IST, master's thesis. The main goal of this new project was to design and analyse a new concept with dimensions and a capacity specific for adults. However, given the simplicity of these previous models, a new project, developed on this thesis, was requested, in which improvements should be made to the existent models.

This new project follows two approaches: design of a new public beach wheelchair and design of a new personal beach wheelchair. Firstly, a market study is developed, in order to identify the main characteristics of a beach wheelchair and which of those are the most important to the user. To avoid misleading and incorrect information, an online inquiry was created. This questionnaire allowed the understanding of the biggest problems found on the existing models and the identification of the main and most crucial improvements to be implemented. Following this study, comes the focus of this thesis. It consists on the design of the new solutions, clearly identifying the main mechanisms and the materials to be used. Finally, a structure analysis is conducted on the two final concepts.

Keywords: beach wheelchair; accessible beaches; reduced mobility; mechanical design; mechanisms; structural analysis

Índice

Agradecimentos	i
Resumo	iii
Abstract	v
Lista de figuras	ix
Lista de tabelas	xiii
Lista de símbolos	xv
Lista de siglas.....	xv
1. Introdução.....	1
1.1. Motivação e enquadramento do tema	1
1.2. Pergunta geral da investigação	2
1.3. Objetivos e estrutura da tese	2
2. Mecanismos e componentes de uma cadeira de rodas	3
2.1. Componentes principais que determinam o desempenho	3
2.1.1. Estrutura	3
2.1.2. Rodas motrizes	3
2.1.3. Rodízios.....	4
2.2. Dimensões de uma cadeira de rodas e antropometria	4
2.2.1. Antropometria	4
2.3. Mercado atual e patentes	5
2.3.1. Soluções existentes no mercado	5
2.3.2. Patentes registadas	8
3. Características principais e sua importância	11
3.1. Questionário desenvolvido e resultados obtidos	11
4. Projetos desenvolvidos.....	19
4.1. Projeto da cadeira pública	19
4.1.1. Seleção do modelo e solução final	19
4.1.2. Dimensões gerais da cadeira pública	22
4.1.3. Componentes principais e material.....	23
4.1.4. Mecanismos principais.....	25
4.2. Projeto da cadeira pessoal	26
4.2.1. Melhorias implementadas e solução final	27
4.2.2. Dimensões gerais da cadeira pessoal	27
4.2.3. Componentes principais e material.....	28
4.2.4. Mecanismos principais.....	32
4.2.5. Arrumação e Transporte	34
4.2.6. Linha de acessórios.....	36
5. Notas de cálculo.....	39
5.1. Cadeira pública.....	39
5.1.1. Materiais e respetivas propriedades	39

5.1.2.	Cálculo do centro de massa	39
5.1.3.	Malha de elementos finitos	41
5.1.4.	Cenários de carga da estrutura principal	42
5.1.5.	Cenários de carga do apoio de perna.....	47
5.1.6.	Situações críticas.....	50
5.2.	Cadeira pessoal.....	52
5.2.1.	Materiais e respectivas propriedades	52
5.2.2.	Cálculo do centro de massa	52
5.2.3.	Malha de elementos finitos	54
5.2.4.	Cenários de carga do assento	55
5.2.5.	Cenários de carga das costas	59
5.2.6.	Cenários de carga do apoio de pernas.....	62
5.2.7.	Análise de ligações.....	66
5.2.8.	Situações críticas.....	70
5.3.	Desenhos Técnicos	74
5.3.1.	Cadeira pública.....	74
5.3.2.	Cadeira pessoal.....	74
6.	Conclusões e Futuros Desenvolvimentos	75
6.1.	Conclusões.....	75
6.2.	Desenvolvimentos futuros	75
7.	Referências Bibliográficas	77
8.	Anexos	81

Lista de figuras

Figura 1 – Exemplo de praia acessível no concelho da Nazaré ^[4]	1
Figura 2 – Cadeira de rodas de praia desenvolvida por: a) associação MMM ^[7] ; b) Luís Brazão ^[6]	2
Figura 3 – Cadeira de rodas: a) rígida (Quickie) ^[9] ; b) de fecho vertical (Orthos XXI) ^[10] ; c) de fecho horizontal (Zinger) ^[11]	3
Figura 4 – Cadeira de rodas para desporto (Quickie) ^[12]	4
Figura 5 – Rodízio e seus componentes (NAIERDI) ^[13]	4
Figura 6 – Esquema representativo de dimensões antropométricas de um adulto sentado ^[14]	5
Figura 7 – Cadeira todo-o-terreno MJM INTL 722-ATC-YEL ^[15]	6
Figura 8 – Cadeira de rodas Sandcruiser® ^[17]	6
Figura 9 – Cadeira todo-o-terreno Hippocampe ^[18]	7
Figura 10 – Cadeira de rodas NEPTUNE CONFORT ^[19]	7
Figura 11 – Cadeira de rodas SandRoller ^[20]	7
Figura 12 – Cadeira todo-o-terreno Beach Bomber ^[15]	8
Figura 13 – Esquema de RECREATIONAL WHEELCHAIR ^[22]	8
Figura 14 – Esquemas de ALL-TERRAIN WHEELCHAIR ^[23]	9
Figura 15 – Esquemas de ALL-TERRAIN WHEELCHAIR ^[24]	9
Figura 16 – Esquema de AMPHIBIOUS MOBILITY ASSIT VEHICLE ^[25]	10
Figura 17 – Esquema de AMPHIBIOUS STAR-WHEELED VEHICLE ^[26]	10
Figura 18 – Introdução apresentada no questionário online.....	11
Figura 19 – Resultados obtidos à questão sobre o género do inquirido.....	12
Figura 20 – Resultados obtidos à questão sobre a idade do inquirido	12
Figura 21 – Resultados obtidos à questão sobre a região de residência do inquirido.....	12
Figura 22 – Resultados obtidos à questão sobre condição do inquirido	12
Figura 23 – Resultados obtidos à questão sobre utilização de cadeira específica para praia.....	13
Figura 24 – Resultados obtidos à questão sobre razão de não ter recorrido a cadeira de praia.....	13
Figura 25 – Resultados obtidos à questão sobre conforto da cadeira.....	13
Figura 26 – Resultados obtidos à questão sobre ajuste ao tamanho da cadeira	13
Figura 27 – Resultados obtidos à questão sobre escolha de posição.....	14
Figura 28 – Resultados obtidos à questão sobre permitir ambas as posições.....	14
Figura 29 – Resultados obtidos à questão sobre importância de tomar banho no mar.....	14
Figura 30 – Resultados obtidos à questão sobre gosto pela praia.....	14
Figura 31 – Resultados obtidos à questão sobre frequência de ir à praia.....	15
Figura 32 – Resultados obtidos à questão sobre importância da autonomia	15
Figura 33 – Resultados obtidos à questão sobre ir à praia acompanhado.....	15
Figura 34 – Resultados obtidos à questão sobre existência de cadeiras nas praias	15
Figura 35 – Resultados obtidos à questão sobre preferência em comprar cadeira ou utilizar as da praia	16
Figura 36 – Resultados obtidos à questão sobre qualidade e complexidade da cadeira a ser comprada	16

Figura 37 – Imagem apresentada no questionário por forma a exemplificar uma cadeira simples	17
Figura 38 – Resultados obtidos à questão sobre preço de uma cadeira melhorada	17
Figura 39 – Modelos criados para cadeira pública: a) Modelo 1, b) Modelo 2, c) Modelo 3	19
Figura 40 – Solução final da cadeira pública: a) tamanho mínimo e b) tamanho máximo	21
Figura 41 – Esquema com dimensões gerais da cadeira de rodas pública	22
Figura 42 – Componentes da cadeira pública	23
Figura 43 – Estrutura principal da cadeira pública	24
Figura 44 – Roda traseira da cadeira pública	24
Figura 45 – Rodízio da cadeira pública	25
Figura 46 – Apoio de perna a) direita e b) esquerda da cadeira pública	25
Figura 47 – Exemplo de mecanismo de ajuste: a) aplicação ^[34] ; b) pino de travagem ^[35]	26
Figura 48 – Sistema de travagem: a) Ocelco Health Equipments and Parts ^[36] , b) modelo em SW	26
Figura 49 – Solução final da cadeira pessoal: a) versão quotidiano, b) versão praia	27
Figura 50 – Esquema com dimensões gerais da cadeira de rodas pessoal (versão praia)	28
Figura 51 – Componentes principais da cadeira pessoal (versão quotidiano)	28
Figura 52 – Apoio de cabeça da cadeira pessoal	29
Figura 53 – Costas da cadeira pessoal	30
Figura 54 – Assento da cadeira pessoal	30
Figura 55 – Roda traseira da cadeira pessoal: a) versão quotidiano; b) versão praia	31
Figura 56 – a) Rodízio e b) Sistema de travagem existentes na cadeira	31
Figura 57 – Apoios de perna a) direita e b) esquerda da cadeira pessoal	32
Figura 58 – Apoio de braço da cadeira pessoal	32
Figura 59 – Braçadeira de mecanismo tipo telescópio ^[38]	33
Figura 60 – Mecanismo de ajuste de posição	33
Figura 61 – Quick Release ^[39]	34
Figura 62 – Exemplo de utilização de RAM® TOUGH-CLAW™ ^[40]	34
Figura 63 – Destaque de tubo de ligação dos rodízios	35
Figura 64 – Processo de arrumação e transporte	35
Figura 65 – Passo extra para arrumação e transporte	36
Figura 66 – Configuração final e respetivas medidas (mm): a) com travões; b) sem travões	36
Figura 67 – Acessórios: a) suporte de chapéu de sol; b) tabuleiro; c) suporte para copos; d) suporte de telemóvel; e) cinto de segurança; f) flutuadores	37
Figura 68 – Coordenadas genéricas do centro de massa de uma pessoa ^[43]	39
Figura 69 – Esquema representativo de coordenada segundo x do centro de massa de pessoa sentada	40
Figura 70 – Centro de massa da cadeira pública	40
Figura 71 – Malha de EF: a) estrutura principal; b) apoio de perna	42
Figura 72 – Estrutura submetida a peso do conjunto: a) esquema; b) NX	42
Figura 73 – Resultado da análise NX: a) deslocamento; b) tensão máxima	43
Figura 74 – Gráfico relativo à análise de convergência da solução	43

Figura 75 – Estrutura submetida a peso do conjunto e força de empurrar: a) esquema; b) NX	44
Figura 76 – Resultado da análise NX: a) deslocamento; b) tensão máxima	44
Figura 77 – Gráfico relativo à análise de convergência da solução	44
Figura 78 – Estrutura submetida a peso do conjunto e força de encostar: a) esquema; b) NX.....	45
Figura 79 – Resultado da análise NX: a) deslocamento; b) tensão máxima	45
Figura 80 – Gráfico relativo à análise de convergência da solução	46
Figura 81 – Estrutura submetida a peso do utilizador nos braços: a) esquema; b) NX.....	46
Figura 82 – Resultado da análise NX: a) deslocamento; b) tensão máxima	47
Figura 83 – Gráfico relativo à análise de convergência da solução	47
Figura 84 – Esquema ilustrativo da inclinação do apoio de perna	48
Figura 85 – Apoio de perna submetido a peso da perna: a) esquema; b) NX.....	48
Figura 86 – Resultado da análise NX: tensão máxima.....	48
Figura 87 – Gráfico relativo à análise de convergência da solução	49
Figura 88 – Apoio de perna submetido ao peso total da pessoa: a) esquema; b) NX.....	49
Figura 89 – Resultado da análise NX: a) deslocamento; b) tensão máxima	50
Figura 90 – Gráfico relativo à análise de convergência da solução	50
Figura 91 – Representação esquemática e d.c.l. da cadeira submetida a peso e força nas costas	51
Figura 92 – Representação esquemática e d.c.l. da cadeira submetida a peso e força vertical na pega	51
Figura 93 – a) Esquema de cadeira sob pavimento inclinado e b) detalhe e decomposição do peso .	52
Figura 94 – Centro de massa de uma pessoa sentada com costas a) direitas e b) inclinadas	53
Figura 95 – Centro de massa da cadeira pessoal: a) costas direitas; b) costas inclinadas.....	54
Figura 96 – Malha de EF: a) assento; b) costas; c) apoio de perna	55
Figura 97 – Assento submetido a peso do conjunto: a) esquema; b) NX.....	55
Figura 98 – Resultado da análise NX: a) deslocamento; b) tensão máxima	56
Figura 99 – Gráfico relativo à análise de convergência da solução	56
Figura 100 – Assento submetido a peso do conjunto e força de costas: a) esquema; b) NX.....	57
Figura 101 – Resultado da análise NX: a) deslocamento; b) tensão máxima	57
Figura 102 – Gráfico relativo à análise de convergência da solução	57
Figura 103 – Assento submetido a peso da pessoa nos braços: a) esquema; b) NX	58
Figura 104 – Resultado da análise NX: a) deslocamento; b) tensão máxima	58
Figura 105 – Gráfico relativo à análise de convergência da solução	59
Figura 106 – Costas submetidas a força de encostar: a) esquema; b) NX	59
Figura 107 – Resultado da análise NX: a) deslocamento; b) tensão máxima	60
Figura 108 – Gráfico relativo à análise de convergência da solução	60
Figura 109 – Costas submetidas de encostar e força vertical na pega: a) esquema; b) NX	61
Figura 110 – Resultado da análise NX: a) deslocamento; b) tensão máxima	61
Figura 111 – Gráfico relativo à análise de convergência da solução	61
Figura 112 – Apoio de perna submetido a peso da perna da pessoa: a) esquema; b) NX	62
Figura 113 – Resultado da análise NX: a) deslocamento; b) tensão máxima	62

Figura 114 – Gráfico relativo à análise de convergência da solução	63
Figura 115 – Apoio de perna na horizontal submetido a peso da perna da pessoa: a) esquema; b) NX	63
Figura 116 – Resultado da análise NX: a) deslocamento; b) tensão máxima	64
Figura 117 – Gráfico relativo à análise de convergência da solução	64
Figura 118 – Apoio de perna submetido a peso total perna da pessoa: a) esquema; b) NX	65
Figura 119 – Resultado da análise NX: a) deslocamento; b) tensão máxima	65
Figura 120 – Gráfico relativo à análise de convergência da solução	65
Figura 121 – Representação esquemática e d.c.l. do caso A da ligação entre apoio de pernas e assento	66
Figura 122 – Representação esquemática e d.c.l. do caso B da ligação entre apoio de pernas e assento	67
Figura 123 – Representação esquemática e d.c.l. do caso C da ligação entre apoio de pernas e assento	68
Figura 124 – Representação esquemática e d.c.l. do caso A da ligação entre costas e assento	69
Figura 125 – Esquema de conjunto cadeira + pessoa e respetivas dimensões relevantes	70
Figura 126 – a) Esquema de cadeira sob pavimento inclinado e b) detalhe e decomposição do peso	71
Figura 127 – a) Esquema de cadeira sob pavimento inclinado e b) detalhe e decomposição do peso	71
Figura 128 – a) D.c.l. da cadeira com costas inclinadas e b) respetivas forças e forças de atrito existentes na ligação	72
Figura 129 – Esquema da alavanca do mecanismo de ligação	73
Figura 130 – Esquema da secção A e respetivos esforços	73

Lista de tabelas

Tabela 1 – Valores para percentil 5 a 95 para homem e mulher na posição sentada (mm) ^[14]	5
Tabela 2 – Resultados obtidos à questão sobre classificação de diversas características.....	16
Tabela 3 – Critérios de comparação dos diferentes modelos.....	19
<i>Tabela 4 – Método “Pair Wise” aplicado aos cinco critérios.....</i>	<i>20</i>
Tabela 5 – Classificação atribuída para cada importância relativa.....	20
<i>Tabela 6 – Classificação relativa dos modelos.....</i>	<i>20</i>
Tabela 7 – Classificação atribuída aos diferentes níveis de desempenho relativo.....	20
Tabela 8 – Comparação final entre os diversos modelos e a referência.....	21
Tabela 9 – Requisitos e especificações da cadeira pública	22
Tabela 10 – Dimensões gerais da cadeira de rodas pública	22
Tabela 11 – Componentes da cadeira pública	23
Tabela 12 – Requisitos e especificações da cadeira pessoal	27
Tabela 13 – Dimensões gerais da cadeira de rodas pessoal	28
Tabela 14 – Componentes da cadeira pessoal	29
Tabela 15 – Propriedades mecânicas dos materiais da cadeira pública ^{[41][42]}	39
Tabela 16 – Valor das constantes para estimativa do centro de massa de uma pessoa ^[43]	40
Tabela 17 – Propriedades mecânicas dos materiais da cadeira pessoal ^{[42][44]}	52

Lista de símbolos

$L_C(x)$ – Componente segundo x do centro de massa da cadeira
 $L_H(x)$ – Componente segundo x do centro de massa do utilizador
 $L(x)$ – Componente segundo x do centro de massa do conjunto cadeira + utilizador
 m – Massa
 r – Raio
 d – Diâmetro
 A – Área
 I – 2º momento de área de inércia
 J – 2º momento polar de área
 U_x – Deslocamento em x
 U_y – Deslocamento em y
 U_z – Deslocamento em z
 M – Momento fletor
 V – Esforço transverso
 T – Momento torsor
 σ_A – Tensão normal devido a força axial
 σ_M – Tensão normal devido a momento fletor
 τ_V – Tensão de corte devido a esforço transverso
 τ_T – Tensão de corte devido a momento torsor
 σ_{VM} – Tensão equivalente de von Mises
 n – Fator de segurança
 ρ – Massa específica
 S_y – Tensão de cedência
 S_u – Tensão de rutura
 E – Módulo de elasticidade

Lista de siglas

MMM – More Moving Moments
APD – Associação Portuguesa de Deficientes
IST – Instituto Superior Técnico
ISCTE – Instituto Superior de Ciências do Trabalho e da Empresa
PVC – Policloreto de Vinil
PUR – Poliuretano Rígido
SW – SolidWorks
D.c.l. – Diagrama de corpo livre
EF – Elementos Finitos

1. Introdução

1.1. Motivação e enquadramento do tema

A deficiência motora constitui uma limitação do funcionamento físico-motor de um ser humano ou animal, podendo ser de carácter congénito ou adquirido. As origens destes problemas ocorrem no cérebro ou no sistema locomotor, resultando num mau funcionamento ou paralisia dos membros inferiores e/ou superiores [1].

De acordo com um estudo realizado no ISCTE em 2007, estima-se que cerca de 8% a 10% da população portuguesa possui algum tipo de incapacidade. Na Europa, existem aproximadamente 134 milhões de pessoas com mobilidade reduzida [2]. Estes números permitem classificar a mobilidade reduzida como um problema relativamente comum na sociedade. Assim, devido aos constrangimentos que lhe estão associados, surge a necessidade de criação de novos produtos que forneçam auxílio a estes indivíduos. Em alguns casos, objetos como bengalas ou andarilhos são suficientes para facilitar a mobilidade. Contudo, nos casos de maior seriedade, por vezes torna-se necessária a utilização de cadeiras de rodas. Para além destes equipamentos, outras abordagens têm vindo a ser desenvolvidas, como por exemplo a acessibilidade nos transportes públicos, a existência de rampas ou elevadores que permitam aceder a edifícios e aos seus andares, entre outros. É então possível afirmar que, em termos da vida quotidiana cidadina, este tema tem vindo a evoluir, tendo sido desenvolvidas estratégias e equipamentos facilitando um pouco a vida das pessoas com mobilidade reduzida.

Um outro contexto que tem também vindo a ser analisado é a acessibilidade nas praias (ver secção 2.3. *Mercado atual e patentes*). Dado que as condições não são as mesmas que no pavimento de ruas ou passeios, a abordagem é um pouco distinta. Em 2004 foi criado o projeto “Praia Acessível – Praia para Todos!”, que tem como objetivo promover a acessibilidade nas praias. Em 2018, através deste projeto, 214 praias em Portugal, continental e ilhas, foram consideradas acessíveis [3]. Esta acessibilidade é caracterizada pela instalação de rampas e passarelas de acesso, que permitem aos utilizadores de cadeiras de rodas deslocarem-se onde estas estão colocadas, pela criação de zonas destinadas a estes indivíduos e pela instalação de cadeiras de rodas específicas para a praia (ver Figura 1). Estas cadeiras constituem um recurso importante, pois permitem ao utilizador uma melhor adaptação à praia, possibilitando a deslocação na areia e, por vezes, tomar banho no mar. No entanto, é importante entender que as cadeiras de rodas existentes nas praias são ainda relativamente básicas e possuem poucas funcionalidades (Figura 1).



Figura 1 – Exemplo de praia acessível no concelho da Nazaré [4]

1.2. Pergunta geral da investigação

A associação MMM (More Moving Moments) ^[5], pretendendo melhorar o quotidiano de crianças com mobilidade reduzida desenvolveu um projeto que consiste em disponibilizar gratuitamente, nas praias portuguesas, algumas cadeiras de rodas de praia para crianças com peso até 27 kg (Figura 2 a)). Por forma a responder também às necessidades de adultos, o recém graduado em Engenharia Mecânica no Instituto Superior Técnico Luís Brazão desenvolveu uma tese de mestrado cujo principal objetivo consiste no aumento das dimensões da cadeira (ver Figura 2 b)) ^[6]. No entanto, a estrutura corporal não é a mesma para todos os indivíduos, pelo que o problema de adaptação à cadeira poderá existir. Assim, uma próxima etapa, a ser percorrida na presente tese, consiste em responder a esta necessidade de adaptação, desenvolvendo uma nova cadeira de rodas de praia que possibilite ajuste de tamanho. Dada a simplicidade dos modelos base (ver Figura 2), pretende-se também aplicar uma melhoria das características e funcionalidades na nova cadeira.

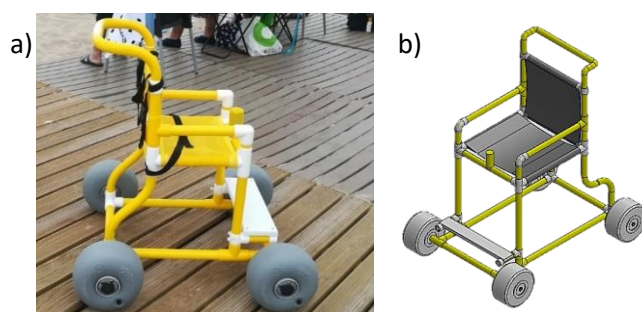


Figura 2 – Cadeira de rodas de praia desenvolvida por: a) associação MMM ^[7]; b) Luís Brazão ^[6]

1.3. Objetivos e estrutura da tese

O principal objetivo desta tese consiste na criação de uma cadeira aperfeiçoada, que proporcione melhores condições, nas praias, a pessoas com mobilidade reduzida. São apresentadas duas abordagens de projeto: uma cadeira pública e uma cadeira pessoal. O projeto da cadeira pública propõe uma cadeira mais simples. No projeto da cadeira pessoal, a qual poderá ser comprada pelo seu utilizador, desenvolve-se um produto que possui mais funcionalidades que o anterior.

Após esta introdução, serão apresentados, no capítulo 2. *Mecanismos e componentes de uma cadeira de rodas*, alguns mecanismos e componentes gerais destes equipamentos, identificando ainda as principais dimensões de uma cadeira e relacionando estas com a antropometria de um ser humano comum. É ainda neste capítulo que serão apresentadas e detalhadas as soluções de mercado e patentes estudadas. No seguinte capítulo, capítulo 3. *Caraterísticas principais e sua importância*, é apresentado e analisado um questionário online, o que permite entender quais as características consideradas mais relevantes para o utilizador. Após identificadas as características mais importantes, surge o capítulo 4. *Projetos desenvolvidos*, no qual se apresentam os modelos finais de ambas as cadeiras, especificando os seus componentes, mecanismos e outros aspetos particulares. Tendo os modelos completos, procede-se então à sua análise, verificando a sua resistência e segurança em diversos cenários de carga. Por fim, são apresentadas as conclusões e possíveis desenvolvimentos futuros.

2. Mecanismos e componentes de uma cadeira de rodas

Neste capítulo serão apresentados alguns fundamentos relativos a cadeiras de rodas, nomeadamente ao nível dos seus componentes principais. O conteúdo apresentado na secção 2.1. tem por base o livro CADEIRAS DE RODAS MANUAIS [8].

Uma cadeira de rodas constitui um apoio técnico essencial para os seus utilizadores. Como tal, é necessário avaliar o seu desempenho, que se traduz na forma como a cadeira possibilita a redução de certos constrangimentos do seu utilizador, adequando-se a diversas situações. Os principais critérios de desempenho são a resistência ao rolamento, o controlo e manobrabilidade, a facilidade de arrumação e transporte e a segurança. Este desempenho é essencialmente dependente dos componentes que constituem a cadeira [8].

2.1. Componentes principais que determinam o desempenho

Os principais componentes que afetam diretamente o desempenho são a estrutura, as rodas motrizes e os rodízios.

2.1.1. Estrutura

A estrutura de uma cadeira de rodas é o componente que suporta o peso do utilizador e ao qual são ligados todos os restantes componentes. A escolha do material de que é constituída a estrutura da cadeira deverá basear-se numa análise realizada tendo em conta os seus objetivos principais, sendo por norma considerados mais relevantes os valores da rigidez, da resistência, do peso e do preço do material. Existem cadeiras articuladas e cadeiras não articuladas ou de estrutura rígida, que não possibilitam o seu fecho (Figura 3). No caso de uma cadeira articulada, esta pode ser de fecho na vertical ou horizontal. As estruturas articuladas são, por norma, mais leves e mais fáceis de empurrar. Contudo, a sua possível falta de rigidez poderá resultar num desalinhamento das rodas e num desgaste prematuro, o que conseqüentemente resulta numa maior dificuldade na movimentação da cadeira [8].



Figura 3 – Cadeira de rodas: a) rígida (Quickie) [9]; b) de fecho vertical (Orthos XXI) [10]; c) de fecho horizontal (Zinger) [11]

2.1.2. Rodas motrizes

As rodas motrizes, por norma as traseiras (Figura 4), possuem os seguintes componentes principais: os pneus, as jantes e os cubos. Os pneus podem ser pneumáticos, os quais são de baixo peso e proporcionam um maior conforto, ou maciços, cuja resistência ao rolamento, manutenção e desgaste são menores. Relativamente às jantes e cubos de roda, as jantes podem ter raios cruzados ou raios radiais, sendo mais rígidas no segundo caso. Os cubos de roda estão, por vezes, equipados com um botão *quick release*, que permite desacoplar a roda facilmente [8].



Figura 4 – Cadeira de rodas para esporte (Quickie) ^[12]

2.1.3. Rodízios

Os rodízios são geralmente colocados na frente da estrutura, de modo a melhorar a estabilidade e a facilitar a transição de e para a cadeira. Os seus principais componentes são: roda; garfo; haste; rolamentos da haste (Figura 5). Quanto maior for o rodízio, menor será o esforço necessário para ultrapassar obstáculos. Estes componentes, tais como as rodas motrizes, podem ser pneumáticos, necessários quando a componente do peso que têm de suportar é elevada, ou sólidos, utilizados quando o peso incide maioritariamente nas rodas motrizes. O principal cuidado a ter com os rodízios diz respeito à flutuação (vibração da roda em torno da haste), que pode ser reduzida ou eliminada com um aumento da excentricidade e da resistência à rotação em torno da haste e com a diminuição do peso e tamanho das rodas ^[8].

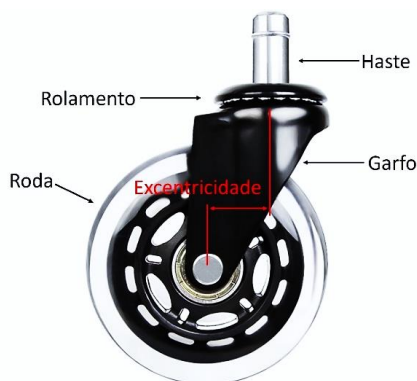


Figura 5 – Rodízio e seus componentes (NAIERDI) ^[13]

2.2. Dimensões de uma cadeira de rodas e antropometria

As dimensões de uma cadeira de rodas são um dos principais fatores analisados aquando da sua compra. Assim, surge a necessidade de entender a correlação existente entre as dimensões do equipamento e as dimensões do corpo humano. As principais dimensões a considerar são: altura sentado (distância entre assento e topo da cabeça); profundidade do assento (comprimento da coxa); largura do assento (largura da cintura/anca); altura poplíteia (distância entre joelho e planta do pé/sola do sapato) (ver Figura 6).

2.2.1. Antropometria

Após entender a correlação entre as dimensões de uma cadeira e as dimensões do corpo humano, é agora importante saber os valores médios destas dimensões. Apresenta-se de seguida um esquema

(ver Figura 6) seguido de uma tabela (ver Tabela 1) contendo as dimensões gerais de um adulto quando este se encontra sentado [14].

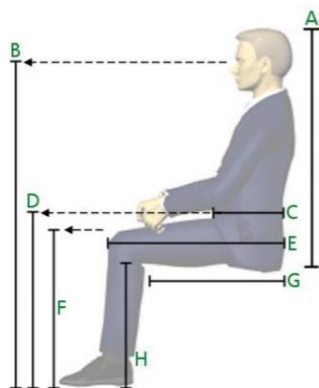


Figura 6 – Esquema representativo de dimensões antropométricas de um adulto sentado [14]

Tabela 1 – Valores para percentil 5 a 95 para homem e mulher na posição sentada (mm) [14]

Medida	Letra	Mulher 5° – 95° %	Homem 5° – 95° %	Alcance total 5° – 95° %
Altura sentado	A	795 – 909	853 – 973	795 – 973
Altura até olhos	B	1082 – 1240	1176 – 1336	1082 – 1336
Profundidade de cintura	C	185 – 272	198 – 290	185 – 290
Altura acima da coxa	D	533 – 622	584 – 681	533 – 681
Nádega até joelho	E	541 – 640	569 – 668	542 – 668
Altura do joelho	F	503 – 589	544 – 635	503 – 635
Profundidade de assento	G	429 – 518	450 – 536	429 – 536
Altura poplíteia	H	381 – 460	424 – 505	381 – 505
Largura de assento	----	368 – 457	353 – 437	353 – 457

A partir da informação obtida com a Tabela 1, é possível, na fase de projeto e design, identificar as dimensões necessárias para que uma cadeira de rodas possa ser utilizada por um indivíduo comum, quer seja homem ou mulher, permitindo a adaptação ao corpo do mesmo.

2.3. Mercado atual e patentes

2.3.1. Soluções existentes no mercado

O mercado de cadeiras de rodas para a praia tem vindo a ser explorado, existindo atualmente várias soluções que promovem a acessibilidade das praias. De seguida apresentam-se algumas destas soluções.

➤ ALL TERRAIN CHAIR MJM INTL 722-ATC-YEL [15][16]

Esta é uma cadeira simples e básica. No caso de utilizadores totalmente incapacitados é uma boa opção. Contudo, caso se pretenda alguma independência é pouco aconselhada pois requer a presença de um acompanhante para a movimentar. Apenas permite andar na areia, sendo impossível a flutuação na água (Figura 7).

O material da estrutura é PVC, a sua largura externa (com rodas) e a sua massa são aproximadamente 61 cm e 62 kg, respetivamente. A cadeira é capaz de suportar até 113 kg.



Figura 7 – Cadeira todo-o-terreno MJM INTL 722-ATC-YEL ^[15]

➤ **Sandcruiser® Beach Wheelchair** ^[17]

A Sandcruiser é uma criação australiana e uma cadeira popular no mercado. As suas rodas permitem um deslocamento suave sobre areia, neve, relva e cascalho. A possibilidade de ser ajustada, nomeadamente nas pernas, constitui uma importante vantagem. Embora a cadeira não seja projetada para flutuar, oferece uma excelente experiência na praia e em águas rasas. Contudo, exige a presença de um acompanhante para ser possível o deslocamento (Figura 8).

Fabricada em aço inoxidável, esta cadeira tem 99 cm de largura e uma massa de 30 kg, suportando até 120 kg.



Figura 8 – Cadeira de rodas Sandcruiser® ^[17]

➤ **Hippocampe all-terrain beach wheelchair** ^{[15][18]}

Criada em França, a Hippocampe (Figura 9) é uma cadeira todo-o-terreno, que permite o acesso a terrenos adversos, tais como praia, areia, água, trilhos para caminhadas, neve e montanha. Rebocada, empurrada ou autopropulsionada, esta cadeira possibilita a autonomia do utilizador, sendo ainda possível recorrer ao auxílio de um acompanhante nos casos de maior incapacidade.

Com uma largura de 40 cm, uma massa de 17 kg, desmontável e com estrutura dobrável (fecho horizontal), a facilidade de transporte é uma característica importante desta cadeira.



Figura 9 – Cadeira todo-o-terreno Hippocampe [18]

➤ **NEPTUNE CONFORT** [19]

A cadeira NEPTUNE (Figura 10) é uma cadeira anfíbia, isto é, o seu principal objetivo é possibilitar a flutuação na água. Possui três posições para a inclinação do encosto, é dobrável (fecho horizontal) e, portanto, fácil de transportar e possui braços moveis com pegas que facilitam a transferência e mantêm o equilíbrio na água.

A largura desta cadeira é de 107 cm, possui uma massa de 23 kg e é capaz de suportar até 125 kg.



Figura 10 – Cadeira de rodas NEPTUNE CONFORT [19]

➤ **SandRoller** [15] [20]

Com duas grandes rodas laterais (aproximadamente 70 cm de diâmetro e 30 cm de largura) e uma dianteira insuflável (50 cm de diâmetro e 15 cm de largura), a SandRoller (Figura 11) é um triciclo de areia com propulsão própria, permitindo que pessoas com mobilidade reduzida se desloquem autonomamente na praia. Contudo, o tamanho das suas rodas laterais torna difícil o seu transporte e arrumação.



Figura 11 – Cadeira de rodas SandRoller [20]

➤ **Beach Bomber** ^[15] ^[21]

Construída especificamente para o estilo de vida de praia e caminhada, esta criação da Box Wheelchairs utiliza uma combinação de pneus de praia largos (61 cm de diâmetro e 10 cm de largura) e rodas dianteiras infláveis (20 cm de diâmetro e 7,6 cm de largura) ^[21]. É uma cadeira todo-o-terreno personalizada de acordo com as necessidades do utilizador. As suas rodas permitem a autopropulsão, permitindo independência ao utilizador. Não permite flutuação e o transporte é muito dificultado pela sua constituição (Figura 12).



Figura 12 – Cadeira todo-o-terreno Beach Bomber ^[15]

2.3.2. Patentes registadas

De seguida apresentam-se algumas patentes, consideradas mais relevantes, que incidem sobre o tema da acessibilidade e deslocamento na praia.

➤ **Recreational Wheelchair** ^[22]

Esta patente, com número US5634650, é proveniente dos Estados Unidos, datada de 3 de junho de 1997 e da autoria dos inventores Mike Hensler, Sr. e Roger Shulzinsky. Trata-se de uma cadeira de rodas recreativa com quatro pneus de baixa pressão para uso em praias, lagos ou outros ambientes com terreno irregular ou áspero (Figura 13). A cadeira inclui um chassis de elevada resistência, apoio de braço removível e acessórios para recreação, como suporte de guarda-sol, suporte de cana de pesca e possível montagem de tanque de oxigênio.

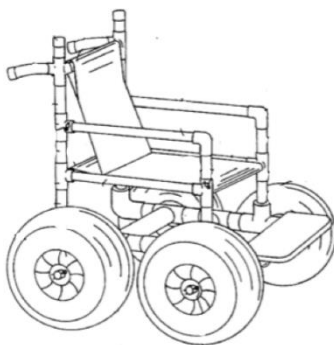


Figura 13 – Esquema de RECREATIONAL WHEELCHAIR ^[22]

➤ **All-Terrain Wheelchair** ^[23]

Da autoria do inventor Stuart G. Oxford, a patente número US4892323 tem origem americana (EUA) e é datada de 9 de janeiro de 1990. Consiste numa cadeira de rodas todo-o-terreno. A sua estrutura

possui uma plataforma de direção acoplada na parte dianteira. Esta plataforma tem ainda uma roda pneumática de engate no solo que é controlada por uma alavanca de direção. Para possibilitar a autopropulsão da cadeira, alavancas podem ser acopladas ao eixo das rodas traseiras (Figura 14).

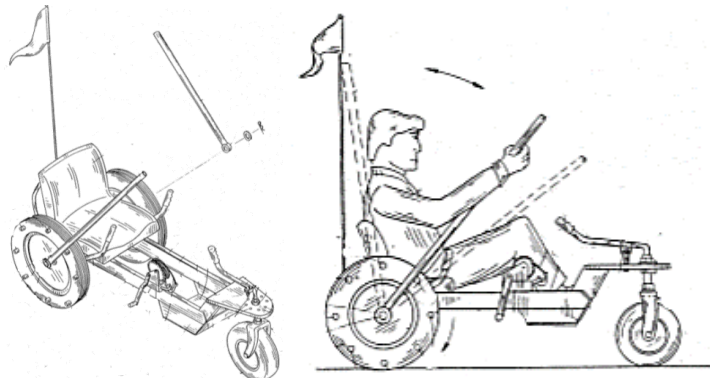


Figura 14 – Esquemas de ALL-TERRAIN WHEELCHAIR [23]

➤ All-Terrain Wheelchair [24]

Novamente uma criação de Stuart G. Oxford, a patente número US5149118 é datada de 22 de setembro de 1992 e trata-se, mais uma vez, de uma cadeira de rodas todo-terreno. A cadeira possui uma estrutura constituída por membros de armação tubular cheios de ar para permitir que a cadeira de rodas seja anfíbia. Um par de rodas motrizes traseiras está montado na parte traseira da armação e é controlado por braços ou alavancas. Uma roda dianteira é montada na armação na extremidade dianteira da mesma. Se for necessária flutuação adicional, tanques de oxigénio podem ser fixados ao chassi. Para garantir propulsão, uma roda de pás é acoplada a cada uma das rodas traseiras, quando a cadeira de rodas é utilizada na água (Figura 15).

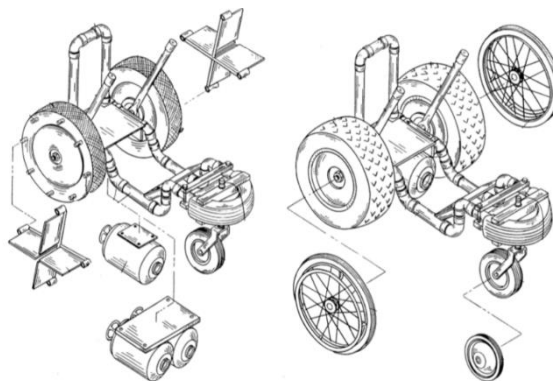


Figura 15 – Esquemas de ALL-TERRAIN WHEELCHAIR [24]

➤ Amphibious Mobility Assist Vehicle for Mobility Impaired Persons [25]

A patente número US5291846 é da autoria de Frederick B. Davis, Jr. e é datada de 8 de março de 1994. Consiste num veículo anfíbio, cujo corpo de flutuação principal tem uma configuração de catamarã. Um par de rodas convencionais do tipo cadeira de rodas está conectado na parte traseira, em cada lado do assento, e um par de rodas ocas de flutuação, rodízios, está conectado na dianteira (Figura 16).

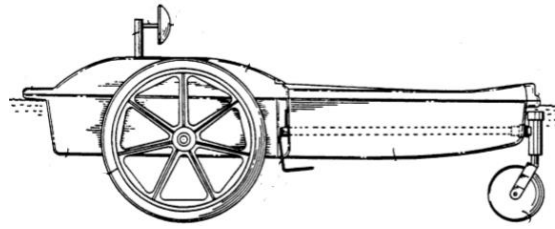


Figura 16 – Esquema de AMPHIBIOUS MOBILITY ASSIST VEHICLE [25]

➤ **Amphibious Star-Wheeled Vehicle** [26]

Apesar de não ser especificamente destinada a indivíduos com mobilidade reduzida, a criação de Robert W. Forsyth e John P. Forsyth, com número US3348518 e datada de 24 de outubro de 1967, apresenta uma abordagem interessante sobre o tema de deslocamento em solo adverso. Trata-se de um veículo polivalente com uma pluralidade de pneus de baixa pressão, montados para rotação em eixos individuais que são igualmente espaçados e rotativos em torno de um eixo central (Figura 17). O veículo e/ou as suas rodas individuais podem ser acionadas seletivamente de modo a fornecer locomoção sob diferentes tipos de superfícies, como estradas ou outras superfícies duras, lama, areia, pântanos e águas abertas.

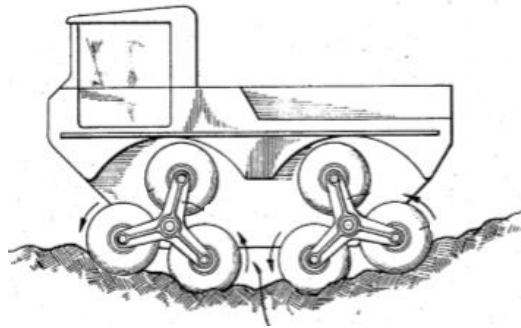


Figura 17 – Esquema de AMPHIBIOUS STAR-WHEELED VEHICLE [26]

3. Caraterísticas principais e sua importância

Após entender os principais mecanismos gerais de um produto e conhecer as soluções existentes, deverá ser desenvolvida uma nova solução. No entanto, surge primeiramente a necessidade de entender quais os requisitos e constrangimentos que lhes estão associados, de modo a entender quais as principais necessidades que o novo produto terá de satisfazer.

No caso de uma cadeira de rodas, o utilizador pertence a um grupo específico de indivíduos. Como tal, de modo a entender melhor as principais necessidades, foi desenvolvido um questionário online destinado a utilizadores de cadeiras de rodas e seus familiares ou acompanhantes. Este questionário foi divulgado na rede social Facebook, em diversas páginas de associações de apoio ao deficiente motor. É possível aceder ao questionário através do link: <https://forms.gle/h5o8spsq23jcApwc9>.

3.1. Questionário desenvolvido e resultados obtidos

Para a criação do questionário referido foi utilizada a ferramenta *Google Forms* [28]. O questionário aborda diversos tópicos, contendo perguntas introdutórias sobre o inquirido e perguntas relativas a várias caraterísticas e funcionalidades de uma cadeira de rodas no âmbito da praia. Algumas das perguntas são apenas destinadas a quem afirma não ter utilizado cadeiras de praia (Figura 24) e outras apenas são respondidas por quem de facto já recorreu a estes equipamentos (Figuras 25 e 26)

De seguida apresenta-se uma imagem da introdução (Figura 18), seguindo-se as perguntas e respetivos resultados (Figuras 19 a 38 e Tabela 2). No total obtiveram-se 45 respostas, com a exceção das perguntas correspondentes à Figura 24, cujo total de respostas foi 24, e às Figuras 25 e 26, cujo total de respostas foi 21.



Figura 18 – Introdução apresentada no questionário online

➤ **Por favor, indique o seu sexo.**

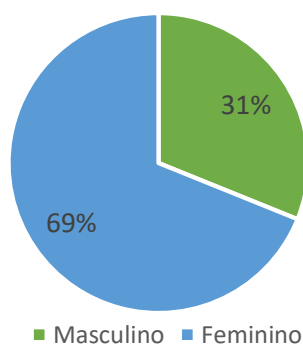
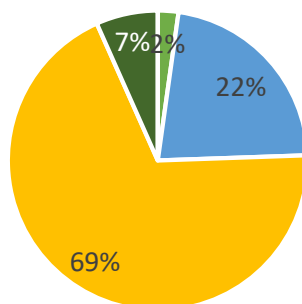


Figura 19 – Resultados obtidos à questão sobre o gênero do inquirido

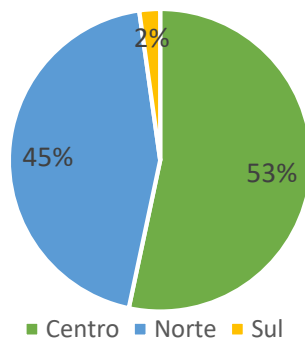
➤ **Qual a sua idade?**



■ < 18 anos ■ 18 - 30 anos ■ 30 - 50 anos ■ 50 - 70 anos ■ > 70 anos

Figura 20 – Resultados obtidos à questão sobre a idade do inquirido

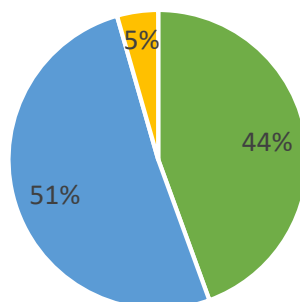
➤ **Qual a sua região de residência?**



■ Centro ■ Norte ■ Sul

Figura 21 – Resultados obtidos à questão sobre a região de residência do inquirido

➤ **É utilizador(a) de cadeira de rodas ou é familiar/companheiro(a) de um(a)?**



■ Sou/Fui/Serei utilizador(a) de cadeira de rodas ■ Sou familiar/companheiro(a)
■ Profissional de Saúde/Terapeuta

Figura 22 – Resultados obtidos à questão sobre condição do inquirido

- **Já utilizou (ou esteve em contacto com) uma cadeira de rodas específica para a praia?**

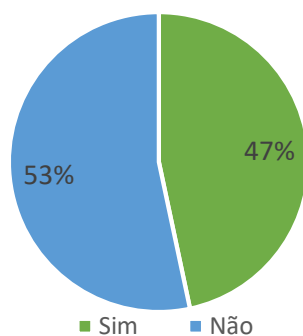


Figura 23 – Resultados obtidos à questão sobre utilização de cadeira específica para praia

- **Indique a razão para não ter recorrido a essas cadeiras.**

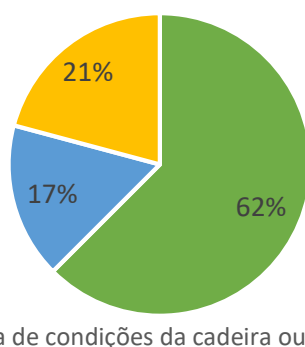


Figura 24 – Resultados obtidos à questão sobre razão de não ter recorrido a cadeira de praia

- **Classifique o conforto da(s) cadeira(s) que experimentou.**

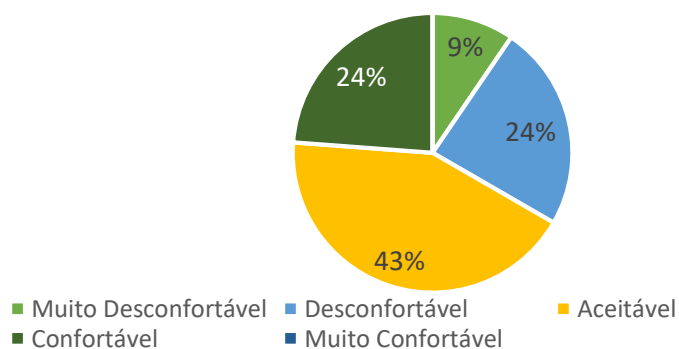


Figura 25 – Resultados obtidos à questão sobre conforto da cadeira

- **Alguma vez teve dificuldades em ajustar-se ao tamanho da cadeira?**

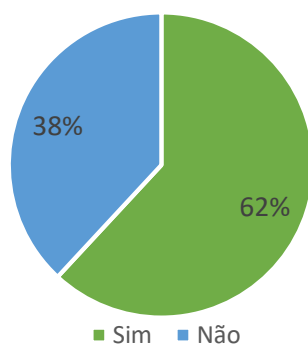


Figura 26 – Resultados obtidos à questão sobre ajuste ao tamanho da cadeira

- **Se tivesse de escolher apenas uma posição, qual seria?**

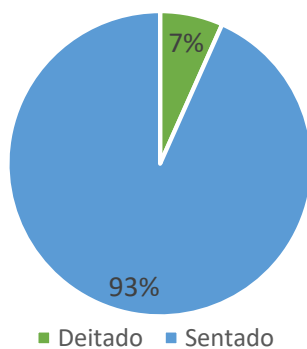


Figura 27 – Resultados obtidos à questão sobre escolha de posição

- **Estaria disposto(a) a pagar mais por uma cadeira que permita ambas as posições anteriores?**

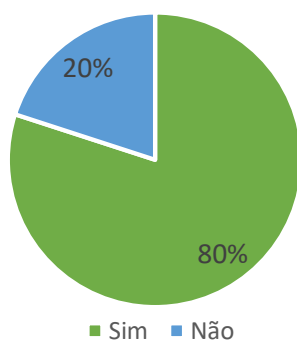


Figura 28 – Resultados obtidos à questão sobre permitir ambas as posições

- **Quão importante seria para si a cadeira permitir a ida ao mar quando vai à praia?**

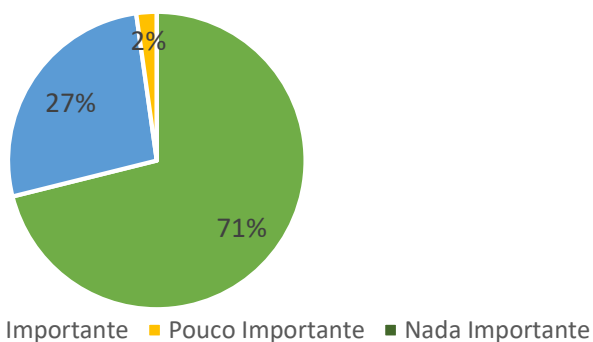


Figura 29 – Resultados obtidos à questão sobre importância de tomar banho no mar

- **Classifique o seu gosto pela praia.**

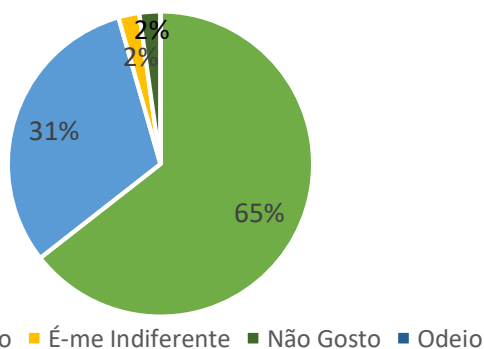
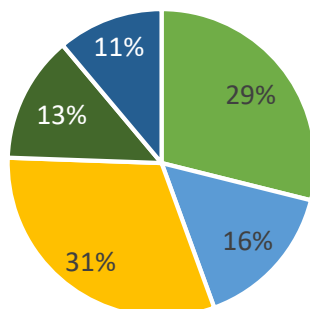


Figura 30 – Resultados obtidos à questão sobre gosto pela praia

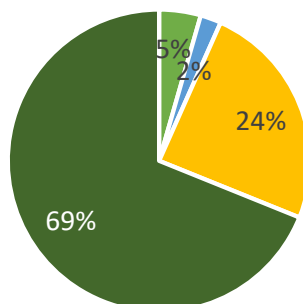
➤ **Com que frequência vai à praia durante o ano?**



■ Sempre que possível ■ Muitas vezes ■ Algumas vezes ■ Poucas vezes ■ Quase nunca

Figura 31 – Resultados obtidos à questão sobre frequência de ir à praia

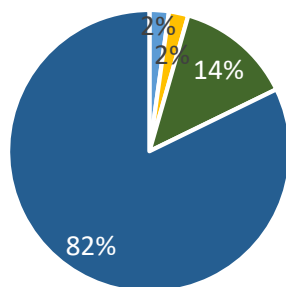
➤ **Classifique a importância que associa à autonomia de poder ir sozinho/a à praia.**



■ Nada Importante ■ Pouco Importante ■ Importante ■ Muito Importante

Figura 32 – Resultados obtidos à questão sobre importância da autonomia

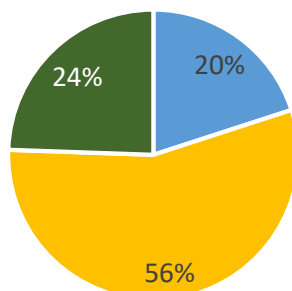
➤ **Com que frequência vai à praia acompanhado?**



■ Vou sempre sozinho/a ■ Vou sozinho/a a maioria das vezes
 ■ Vou tantas vezes sozinho/a como acompanhado/a ■ Vou mais vezes acompanhado/a do que sozinho/a

Figura 33 – Resultados obtidos à questão sobre ir à praia acompanhado

➤ **Nas praias que visita costuma encontrar cadeiras próprias?**



■ Sim, em grande quantidade ■ Sim, mas são poucas em cada praia
 ■ Apenas encontro algumas praias ■ Nunca encontrei uma cadeira dessas

Figura 34 – Resultados obtidos à questão sobre existência de cadeiras nas praias

- Na sua opinião, considera uma melhor opção comprar uma cadeira própria ou simplesmente utilizar as que se encontram na praia apenas quando disponíveis?

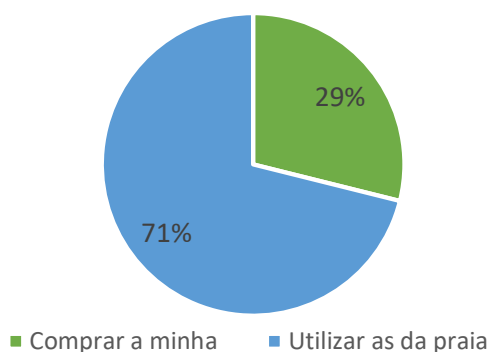


Figura 35 – Resultados obtidos à questão sobre preferência em comprar cadeira ou utilizar as da praia

- Considerando que pretendia comprar a sua própria cadeira, preferia comprar uma simples e barata (como as que se encontram atualmente na praia) ou preferia obter uma um pouco mais cara, mas de melhor qualidade?

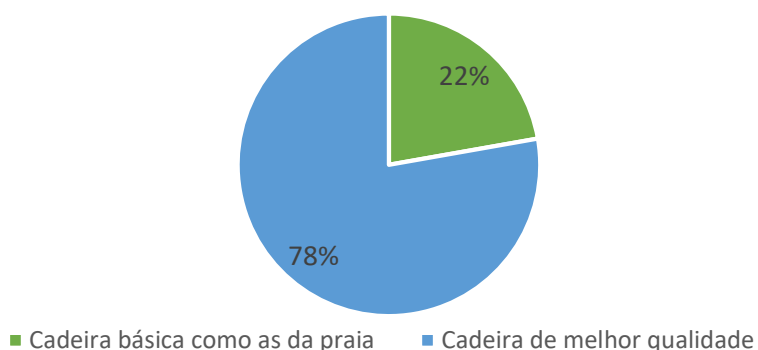


Figura 36 – Resultados obtidos à questão sobre qualidade e complexidade da cadeira a ser comprada

- No caso de uma cadeira de melhor qualidade ordene, relativamente à importância, as seguintes características? Sendo 1º a mais importante e 10º a menos importante.

Tabela 2 – Resultados obtidos à questão sobre classificação de diversas características

Caraterística	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	9º	10º	Pontuação
Assento e encosto confortáveis	13	6	5	1	4	2	3	5	2	4	300
Tamanho ajustável ao corpo da pessoa	6	9	4	4	4	5	6	2	5	0	290
Possibilidade de tomar banho no mar	5	7	9	8	7	3	2	2	2	0	316
Cadeira que permite autonomia/independência	10	2	4	8	1	5	4	4	3	4	275
Facilidade em manobrar/conduzir a cadeira	0	10	9	7	11	3	3	0	2	0	308
Design agradável	1	0	2	2	0	7	4	3	5	21	131
Peso reduzido	1	2	5	5	4	5	7	6	9	1	217
Possibilidade de colocar cadeira em diferentes posições	0	4	3	6	5	6	8	5	6	2	223
Facilidade em transportar	5	1	2	2	9	4	6	7	5	4	222
Possuir encosto de cabeça e pescoço	4	4	2	2	0	5	2	11	6	9	193

- **A cadeira standard apresentada na figura pode custar cerca de 600 euros. Quão mais estaria disposto(a) a pagar por uma melhoria e personalização relativa às duas características que considera mais importantes?**



Figura 37 – Imagem apresentada no questionário por forma a exemplificar uma cadeira simples

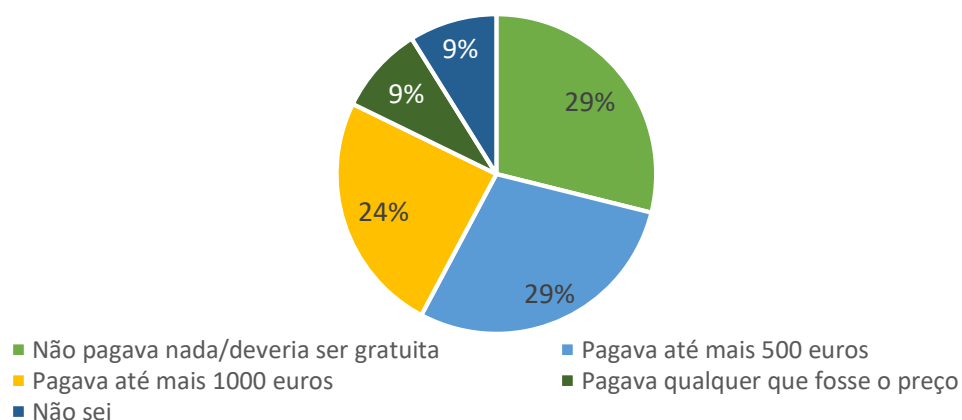


Figura 38 – Resultados obtidos à questão sobre preço de uma cadeira melhorada

- **Caso se lembre de alguma outra característica que não tenha sido abordada ao longo deste questionário, por favor indique-a.**
 - Possuir cinto ou outro mecanismo de suporte e segurança.
 - Ser fácil de transportar e manobrar.
 - Possibilitar independência (colocar motor para melhorar).
 - Cadeira deverá ser confortável.
- **Se tiver alguma sugestão sobre como melhorar as cadeiras existentes na praia ou sobre o que acha necessário existir numa cadeira particular, por favor deixe aqui o seu comentário.**
 - Cadeira deve ser ajustável e confortável.
 - Design deve ser agradável.
 - Deveria existir uma linha de acessórios extra (base de copos, tabuleiro, etc.)
 - Deveriam existir mais acessos, melhores serviços de apoio e mais cadeiras nas praias.
 - Deverá haver facilidade de transporte, manuseamento e autonomia da cadeira.
 - Deve permitir banhos no mar e deslocação fora de praia.

Da análise dos resultados obtidos é possível extrair as diversas conclusões. Primeiramente, de acordo com os gráficos das Figuras 23 e 24, verifica-se que a escassa utilização e disponibilidade destes equipamentos, visto que mais de 50% dos inquiridos afirma nunca ter utilizado uma cadeira específica para a praia. Destes, também mais do que 50% respondeu que a razão para tal se deve ao facto de nunca ter tido acesso a estas cadeiras, verificando-se, tal como referido na secção 1.1. *Motivação e enquadramento do tema*, que estes recursos não estão ainda presentes em muitas das praias portuguesas.

Uma característica importante diz respeito à adaptação à cadeira, por parte do utilizador. Analisando a Figura 26, verifica-se que existe uma certa dificuldade em se ajustar ao tamanho e posição da cadeira, algo que poderá eventualmente ser impeditivo à sua utilização.

Através dos resultados apresentados na Figura 35, verifica-se que a grande maioria considera uma melhor opção utilizar as cadeiras disponíveis na praia, ao invés de adquirir uma cadeira pessoal. Como tal, uma primeira preocupação é desenvolver uma nova cadeira pública, que estaria disponível nas praias para utilização gratuita. No entanto, dado que estas cadeiras são fornecidas às praias pelos municípios, torna-se pouco viável a criação de uma cadeira de elevada complexidade, pois o custo que lhe seria associado aumentaria. Uma segunda abordagem consiste na criação de uma cadeira pessoal mais complexa.

De modo a entender melhor quais são as características consideradas mais importantes, foi criada uma pergunta na qual se solicitava que o inquirido classificasse diversas características, ordenando-as (desde 1º a 10º) relativamente à sua importância. A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos nessa questão. Multiplicando-se, para cada característica, o número de respostas que esta obteve para cada posição por um valor atribuído (10 para o 1º lugar, 9 para o 2º e seguindo este raciocínio até chegar a 1 para o 10º lugar) e somando estes valores, obtém-se uma pontuação final. Observando a Tabela 2, concluiu-se que as três características mais importantes são a possibilidade de tomar banho no mar, a facilidade em manobrar/conduzir a cadeira e o conforto da mesma. Como seria de esperar, de uma forma geral, a característica menos valorizada é o design da cadeira.

Após esta análise à Tabela 2, surge a questão relativa ao preço máximo que se estaria disposto a pagar por uma cadeira pessoal e de melhor qualidade. Pelo gráfico da Figura 38, conclui-se que um número significativo de inquiridos considera aceitável pagar até mais 500 euros por uma cadeira que proporcione melhores condições, perfazendo um total de 1100 euros.

No fim do questionário aparecem duas questões de carácter não obrigatório. Primeiro solicita-se ao inquirido que, caso se lembre de alguma característica que não tenha sido abordada ao longo do questionário e caso a considere importante, a refira. Foram obtidas 17 respostas a esta questão, no entanto, devido a existirem repetições, estas resumem-se às 4 apresentadas. O tópico considerado de maior importância é o relativo à necessidade de a cadeira possuir cinto ou um outro sistema de segurança, algo que é útil principalmente para crianças e para indivíduos com elevados níveis de incapacidade. Por fim, pede-se ao inquirido que, caso assim deseje, deixe a sua opinião ou comentário sobre o tema. Mais uma vez, o total de respostas (18) pode ser resumido às 6 apresentadas. Destas distingue-se apenas a referente à existência de uma linha de acessórios extra, tais como base de copos, tabuleiro, entre outros.

4. Projetos desenvolvidos

4.1. Projeto da cadeira pública

A primeira abordagem apresentada corresponde a uma nova solução para as cadeiras de praia públicas, que podem ser utilizadas gratuitamente e se encontram disponíveis nas diversas praias. Dado que estes equipamentos são fornecidos pelos municípios respetivos, o custo de produção não deverá ser demasiado elevado, pelo que apenas serão melhoradas algumas características, consideradas importantes para o utilizador e que correspondam ao objetivo inicial.

4.1.1. Seleção do modelo e solução final

Primeiramente desenvolveram-se alguns modelos de possíveis soluções (Figura 39).

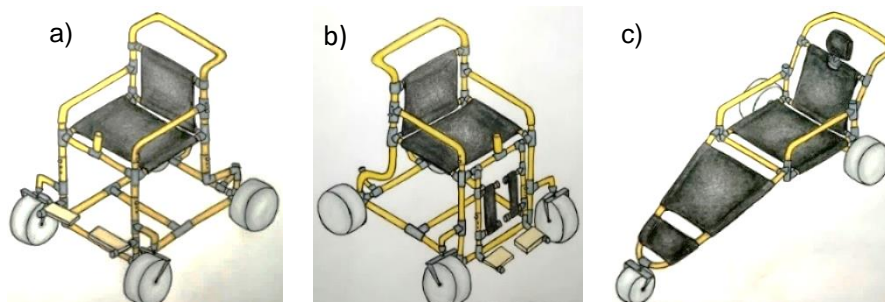


Figura 39 – Modelos criados para cadeira pública: a) Modelo 1, b) Modelo 2, c) Modelo 3

Contudo, é necessária uma análise de modo a concluir qual a melhor opção. Esta análise deverá conter os seguintes passos: identificação dos principais critérios de comparação, atribuir importâncias relativas a estes critérios (“Pair wise Method”), classificar cada conceito com base nestes critérios e, por fim, fazer comparação dos diferentes modelos [29].

➤ Critérios de comparação

Tabela 3 – Critérios de comparação dos diferentes modelos

Critérios	Caraterísticas
C1 – Ergonomia	Conforto Posição preferencial
C2 – Segurança	Estabilidade/não virar Facilidade em empurrar e manobrar
C3 – Versatilidade	Ajustável ao tamanho da pessoa Possibilidade de várias posições
C4 – Resistência	Estrutura estável e resistente
C5 – Design	Aspeto da cadeira Complexidade

Estes critérios abordam as principais características estudadas através do questionário apresentado no capítulo 3. *Caraterísticas principais e sua importância*. Estas podem ser divididas em diferentes categorias, originando os cinco critérios apresentados na tabela 3 [29].

➤ “Pair wise Method”

Tabela 4 – Método “Pair Wise” aplicado aos cinco critérios

	C1	C2	C3	C4	C5	Σ	$\Sigma + 8$	Peso
C1		1	0	1	2	4	12	28,6%
C2	-1		-1	0	1	-1	8	19,0%
C3	0	1		1	2	4	12	28,6%
C4	-1	0	-1		1	-1	8	19,0%
C5	-2	-1	-2	-1		-6	2	4,8%
Σ							42	100%

Tabela 5 – Classificação atribuída para cada importância relativa

Importância Relativa	Classificação
Muito menos	-2
Menos	-1
Igual	0
Mais	1
Muito mais	2

O método “Pair Wise” permite a comparação entre os vários critérios, atribuindo importâncias relativas e obtendo o peso relativo de cada critério [29]. Este método está representado na tabela 4. Cada critério (linhas da tabela) é comparado com os restantes (colunas da tabela), sendo atribuída uma classificação com base na importância relativa (por exemplo, na linha C1 e coluna C2 tem-se 1, o que significa que o critério 1 é mais importante que o critério 2). Através deste processo, é possível identificar quais os critérios mais importantes. Neste caso, verifica-se que os critérios com maior peso relativo são a ergonomia (C1) e a versatilidade (C3).

➤ Classificação dos modelos

Para proceder à classificação dos diferentes modelos, é necessário ter uma referência com a qual se deverá comparar. A referência escolhida, neste caso, foi a cadeira desenvolvida pelo aluno Luís Brazão (ver secção 1.2. Pergunta geral da investigação e Figura 2 b)).

Tabela 6 – Classificação relativa dos modelos

	Referência	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
C1	3	3	5	5
C2	3	3	3	4
C3	3	4	5	3
C4	3	3	3	2
C5	3	3	3	4

Tabela 7 – Classificação atribuída aos diferentes níveis de desempenho relativo

Desempenho Relativo	Classificação
Muito pior que referência	1
Pior que referência	2
Igual à referência	3
Melhor que referência	4
Muito melhor que referência	5

A classificação dos modelos consiste em caracterizar o desempenho relativo dos diferentes modelos em relação a cada critério. Através desta classificação é possível proceder à comparação final entre os três modelos e a referência [29].

➤ **Comparação entre os modelos**

Tabela 8 – Comparação final entre os diversos modelos e a referência

Critério de seleção	Peso	Referência		Modelo 1		Modelo 2		Modelo 3	
		Class.	Wtd	Class.	Wtd	Class.	Wtd	Class.	Wtd
C1	28,6%	3	0,858	3	0,858	5	1,43	5	1,43
C2	19,0%	3	0,570	3	0,570	3	0,570	4	0,76
C3	28,6%	3	0,858	4	1,144	5	1,43	3	0,858
C4	19,0%	3	0,570	3	0,570	3	0,570	2	0,38
C5	4,8%	3	0,144	3	0,144	3	0,144	4	0,192
Total Score			3,00		3,29		4,14		3,62
Classificação		4º		3º		1º		2º	

Esta comparação consiste em atribuir, para cada modelo, um valor relativo a cada critério. É possível obter este valor, multiplicando a classificação relativa dos modelos em cada critério pelo seu peso respetivo. De seguida, para cada modelo, somam-se estes valores e obtém-se um valor final [29]. Para o caso da referência, este valor terá de ser 3, pois é a classificação atribuída para cada critério. Dos restantes modelos, o que apresentar maior valor final é considerado a melhor opção. Neste caso, verifica-se que o modelo mais apropriado é o Modelo 2 (ver Figura 39 b)). É então criado um modelo final (ver Figura 40).

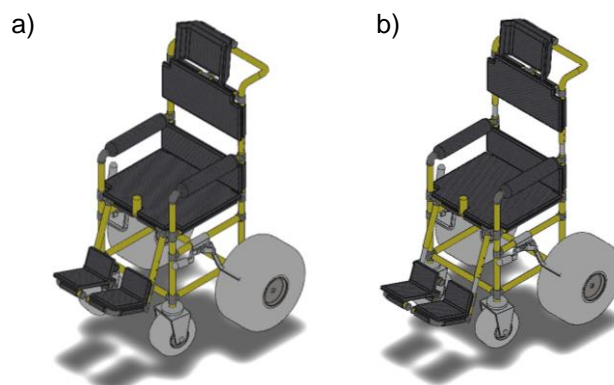


Figura 40 – Solução final da cadeira pública: a) tamanho mínimo e b) tamanho máximo

A cadeira pública (ver Figura 40) apresenta uma estrutura semelhante ao Modelo 2 (ver Figura 39 b)). Contudo, apresenta algumas características extra, tais como o encosto de cabeça e o sistema de travagem. O apoio de cabeça tem como principal objetivo permitir a utilização da cadeira por parte de todos os indivíduos com mobilidade reduzida, dado que certas pessoas possuem um maior nível de incapacidade, podendo não conseguir mover qualquer membro nem, por vezes, o tronco e o pescoço. O sistema de travagem consiste numa medida de segurança, nomeadamente caso se deseje parar a cadeira numa zona inclinada.

4.1.2. Dimensões gerais da cadeira pública

A solução final foi criada com auxílio ao programa de modelação 3D SolidWorks. Para além das características principais, abordadas na secção 3.1. *Questionário desenvolvido e resultados obtidos*, é também importante referir certos requisitos e especificações associados a esta nova cadeira. Com base nas características referidas e na informação referida na secção 2.2. *Dimensões de uma cadeira de rodas e antropometria*, construiu-se a seguinte tabela apresentada (Tabela 9).

Tabela 9 – Requisitos e especificações da cadeira pública

Requisitos	Especificações
Baixo custo	Altura sentado entre 795 e 973 mm
Peso reduzido	Profundidade do assento entre 429 e 536 mm
Tamanho ajustável	Largura do assento entre 353 e 457 mm
	Comprimento de apoio de pernas entre 381 e 505 mm

É importante notar que as dimensões máximas apresentadas correspondem a um percentil de 95%, o que é relativamente raro, pelo que as medidas implementadas, à exceção da largura do assento, não deverão atingir estas medidas máximas, mesmo com ajuste de tamanho.

As dimensões gerais da cadeira pública apresentam-se em seguida (ver Figura 41 e Tabela 10).

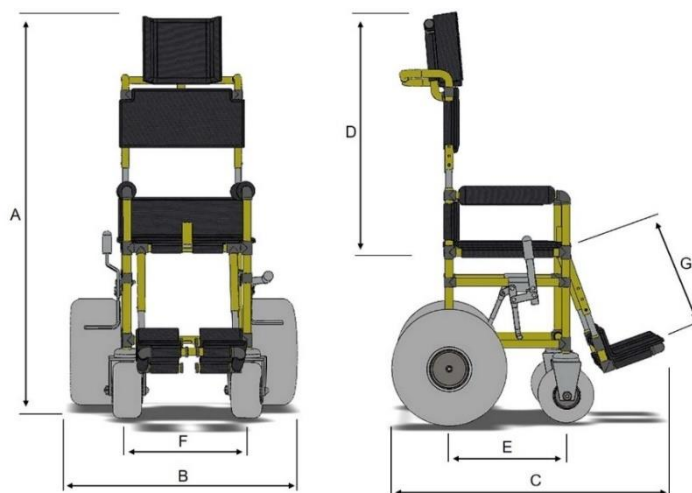


Figura 41 – Esquema com dimensões gerais da cadeira de rodas pública

Tabela 10 – Dimensões gerais da cadeira de rodas pública

Letra	Medida	Valor [mm]
A	Altura total	1635 – 1715
B	Largura total	1025
C	Comprimento Total	1132
D	Altura sentado	857 – 937
E	Profundidade do assento	510
F	Largura do assento	522
G	Comprimento de apoio de pernas	380 – 480

4.1.3. Componentes principais e material

A cadeira pública é constituída por diversos componentes (ver Figura 42 e Tabela 11). Uma informação mais detalhada destes e das suas dimensões encontra-se nos desenhos técnicos (ver anexos).

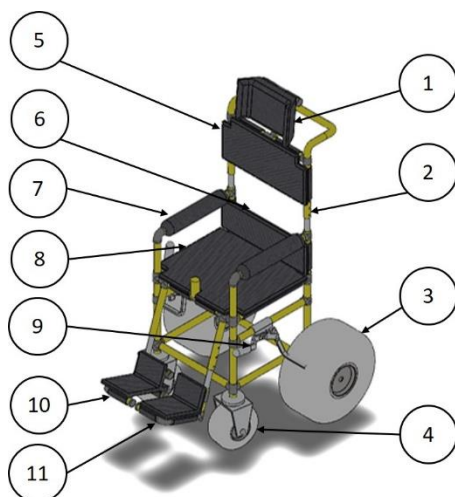


Figura 42 – Componentes da cadeira pública

Tabela 11 – Componentes da cadeira pública

Número	Componente
1	Apoio de cabeça
2	Estrutura principal
3	Roda traseira
4	Rodízio
5	Colchão das costas 1
6	Colchão das costas 2
7	Colchão dos braços
8	Colchão do assento
9	Travão
10	Apoio de perna direita
11	Apoio de perna esquerda

De entre os componentes da cadeira pública, os principais são: estrutura principal; rodas traseiras; rodízios; apoio de pernas.

➤ Estrutura principal

A estrutura da cadeira consiste na junção de diversos tubos cujo material é PVC rígido (ver Figura 43). Estes tubos possuem um diâmetro interno de 26,64 mm e um diâmetro externo de 33,4 mm.

Para informações detalhadas sobre estes tubos, bem como sobre as peças que possibilitam a junção destes, foram consultados os catálogos da empresa C&S Plastics ^[30].

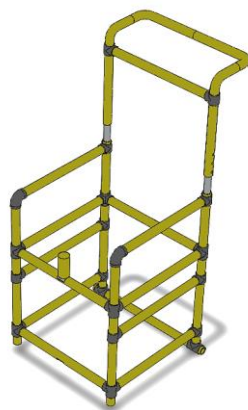


Figura 43 – Estrutura principal da cadeira pública

Tal como representado no modelo escolhido (ver Figura 39 b)), a cadeira possui um mecanismo de ajuste de tamanho nas costas. Este mecanismo corresponde ao mecanismo utilizado no ajuste de muletas. A estrutura geral é semelhante à apresentada na cadeira para criança da MMM (ver Figura 2 a)) e na cadeira desenvolvida pelo recém graduado Luís Brazão (ver Figura 2 b)). No entanto, ao contrário das anteriores, esta terá dois rodízios na frente, pelo que nas rodas da frente não haverá um eixo entre estas. São ainda acrescentados dois tubos lateralmente, de modo a ser possível incorporar o sistema de travagem. Por fim, o desalinhamento entre as rodas traseiras e as costas da cadeira não existe. Este desalinhamento, embora pudesse prevenir um pouco a possibilidade de virar a cadeira, constitui também uma fragilidade a nível estrutural.

➤ Rodas traseiras

As rodas traseiras são rodas WheelEEZ® Balloon Beach Wheels ^[31], especificamente criadas para terrenos controversos como areia, terra, entre outros. O material destas rodas é PUR. No caso particular apresentado são usadas as rodas de 49 cm de diâmetro. Estas rodas suportam até um peso de 80 kg cada uma (ver Figura 44).



Figura 44 – Roda traseira da cadeira pública

➤ Rodízios

Os rodízios correspondem às rodas dianteiras. Estas são de menores dimensões que as anteriores, mas o material utilizado é o mesmo. Mais uma vez, são rodas WheelEEZ® Balloon Beach Wheels ^[31], próprias para serem utilizadas em locais como praias. As rodas utilizadas para os rodízios têm um diâmetro de 42 cm (ver Figura 45). No caso das rodas traseiras, estas possuem um eixo comum. Os rodízios, por outro lado, são independentes. Graças à sua configuração, estes têm rotação em torno de um eixo vertical, o que facilita o ato de manobrar a cadeira, nomeadamente quando se pretende mudar de direção (ver secção 2.1.3. Rodízios e Figura 5).

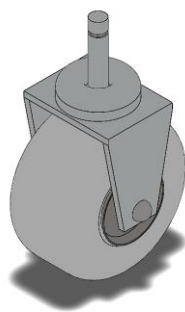


Figura 45 – Rodízio da cadeira pública

➤ Apoio de pernas

Por forma a melhorar o conforto e a facilitar o ajuste ao tamanho da pessoa, os apoios de pernas e pés possuem uma estrutura própria (ver Figura 46), contrariamente ao que se verifica na cadeira da MMM (ver Figura 2 a)) e na projetada pelo recém graduado Luís Brazão (ver Figura 2 b)). Nesta cadeira, o ajuste do tamanho destes apoios é possível e relativamente simples, sendo apenas necessário pressionar um pino para aumentar ou diminuir o seu comprimento. Os tubos utilizados para a estrutura destes componentes são os mesmo utilizados na estrutura principal. Os colchões sob os quais assentam os pés do indivíduo possuem um revestimento em *Texteline*^[32], feito de fios de poliéster revestidos com PVC. O interior destes colchões consiste numa espuma de Poliuretano com densidade mediana^[33]. Estes materiais são também aplicados aos restantes colchões da cadeira. Todos os colchões possuem um sistema de abertura de velcro, podendo assim ser removidos quando necessário, por exemplo para limpeza.

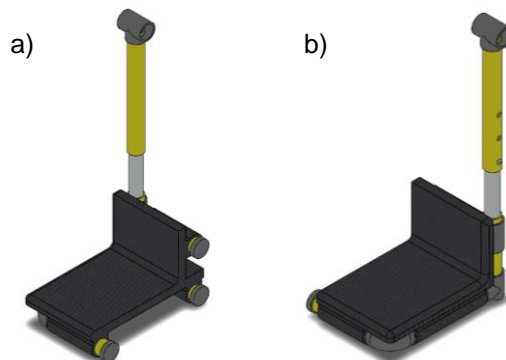


Figura 46 – Apoio de perna a) direita e b) esquerda da cadeira pública

4.1.4. Mecanismos principais

Os mecanismos principais são: mecanismo de ajuste de tamanho; sistema de travagem.

➤ Mecanismo de ajuste de tamanho

Um dos principais objetivos desta tese consiste em permitir a adaptação e ajuste de uma nova cadeira. Assim, é necessário um mecanismo simples e de fácil utilização, que permita ao utilizador, ou quem o acompanhe, o seu acionamento. O mecanismo escolhido corresponde ao mesmo mecanismo utilizado para o ajuste de muletas (ver Figura 47 a)). Dentro do tubo interior encontra-se um pino de ajuste ou pino de travagem (ver Figura 47 b)), que trava os dois tubos numa certa posição. Ao pressionar este pino, o tubo exterior é destravado, permitindo movimentá-lo para cima ou para baixo até chegar ao seguinte furo, onde o pino trava novamente.

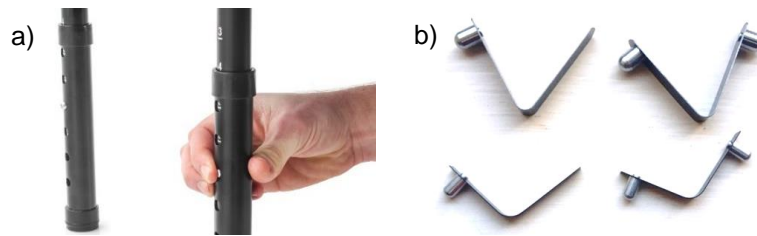


Figura 47 – Exemplo de mecanismo de ajuste: a) aplicação ^[34]; b) pino de travagem ^[35]

Este mecanismo é implementado nos apoios de pernas e na estrutura principal, na zona das costas. Assim, é possível alterar o comprimento dos apoios de pernas e das costas, de modo a melhor se adaptar ao tamanho do utilizador. Os tubos exteriores correspondem aos tubos da estrutura em PVC rígido (ver secção 4.1.3. *Componentes principais e material*) e o tubo interior seria de um metal não corrosivo, o alumínio por exemplo, devido ao seu baixo custo.

➤ Sistema de travagem

A segurança é de importância extrema nestes equipamentos, apesar de nem sempre valorizada e considerada pelos utilizadores. No entanto, é talvez das mais essenciais numa cadeira de rodas. Apesar de nas praias não existir, por norma, uma necessidade elevada de travagem da cadeira, esta segurança poderá ser necessária quando se pretende parar por completo a cadeira, permanecendo apenas num sítio. O sistema de travagem mais utilizado nestes equipamentos consiste em puxar ou empurrar uma alavanca. Com este movimento, o sistema de travagem exerce uma pressão sobre o pneu, impedindo a rotação deste (ver Figura 48 b)). O sistema apresentado no modelo 3D da cadeira pública tem por base um sistema da Ocelco: Health Equipments and Parts ^[36] (ver Figura 48 a)).

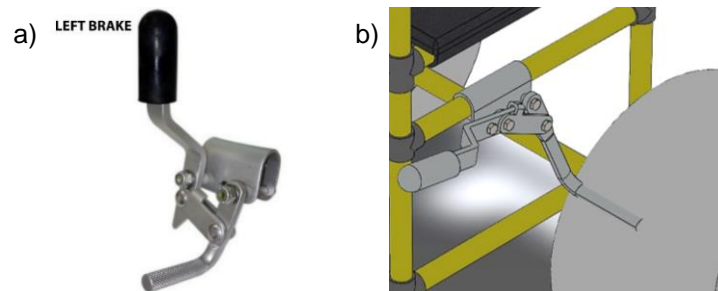


Figura 48 – Sistema de travagem: a) Ocelco Health Equipments and Parts ^[36], b) modelo em SW

4.2. Projeto da cadeira pessoal

A segunda abordagem diz respeito à criação de uma nova cadeira não pública, ou seja, pode e deve ser adquirida para uso pessoal particular. Assim, este tipo de cadeira de rodas não se encontra disponível nas diversas praias, como na abordagem anterior. Dado que este equipamento é comprado por cada indivíduo e não fornecido pelos municípios, poderá apresentar uma maior complexidade, com a consequência de apresentar também um maior custo de fabrico e preço de aquisição. Contrariamente ao caso da cadeira pública, para a cadeira pessoal não é realizada uma análise comparativa entre diversos modelos. Tendo por base as cadeiras prévias, nomeadamente a cadeira pública e a cadeira projetada pelo recém graduado Luís Brazão (ver secção 1.2. *Pergunta geral da investigação* e Figura 2 b)), esta nova solução surge de inúmeras alterações e melhorias implementadas nestas referências.

4.2.1. Melhorias implementadas e solução final

Tendo por base os resultados obtidos no questionário online (ver capítulo 3. *Caraterísticas principais e sua importância*), certas melhorias são implementadas para obter uma cadeira pessoal mais desenvolvida e apropriada. A partir dos resultados apresentados na Tabela 2, é possível identificar a possibilidade de tomar banho no mar como a caraterística mais importante para os utilizadores. De facto, esta nova solução apresenta esta possibilidade, que será apenas explicada na secção 4.2.6. *Linha de acessórios*. A segunda caraterística mais importante é a facilidade em manobrar a cadeira, algo que é conseguido substituindo as rodas frontais por rodízios. A esta segue-se o conforto do assento e do encosto. Tal como a cadeira pública, a cadeira pessoal possui colchões no assento, costas, apoios de pernas e apoios de braços. O material a utilizar para estes colchões é, contudo, diferente (ver secção 4.2.3. *Componentes e principais e material*). O tamanho ajustável ao corpo da pessoa continua a ser uma das principais caraterísticas, tendo sido também implementado na cadeira pública. Uma das principais melhorias, e talvez a mais significativa, desta cadeira pessoal é esta permitir a autonomia ou independência do utilizador, podendo também adaptar-se aos diferentes meios (ver Figura 49). As restantes melhorias consistem em existir a possibilidade de colocar a cadeira em diferentes posições (sentado e deitado) e na facilidade em transportar, pois esta cadeira terá uma estrutura que permite o fecho na horizontal.

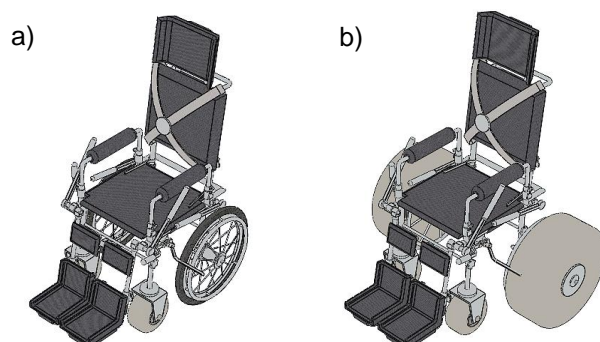


Figura 49 – Solução final da cadeira pessoal: a) versão quotidiano, b) versão praia

4.2.2. Dimensões gerais da cadeira pessoal

Para obter a solução apresentada na Figura 49, recorreu-se novamente ao programa de modelação 3D SW. Tal como no caso da cadeira pública, as especificações do projeto estão relacionadas com certas dimensões antropométricas. Os requisitos, por outro lado, não correspondem exatamente aos mesmos que no caso anterior, dado que neste caso o transporte (ver secção 4.2.5. *Arrumação e transporte*) e a possibilidade de independência constituem requisitos importantes.

Tabela 12 – Requisitos e especificações da cadeira pessoal

Requisitos	Especificações
Peso reduzido	Altura sentado entre 795 e 973 mm
Tamanho ajustável	Profundidade do assento entre 429 e 536 mm
Fácil transporte	Largura do assento entre 353 e 457 mm
Autonomia do utilizador	Comprimento de apoio de pernas entre 381 e 505 mm

Mais uma vez, é importante notar que as dimensões máximas da cadeira, com exceção da largura do assento, não irão corresponder às máximas apresentadas na secção 2.2.1. *Antropometria*, devido

à invulgaridade do percentil 95%. As dimensões gerais da cadeira pessoal apresentam-se em seguida para a configuração de praia (ver Figura 50 e Tabela 13).

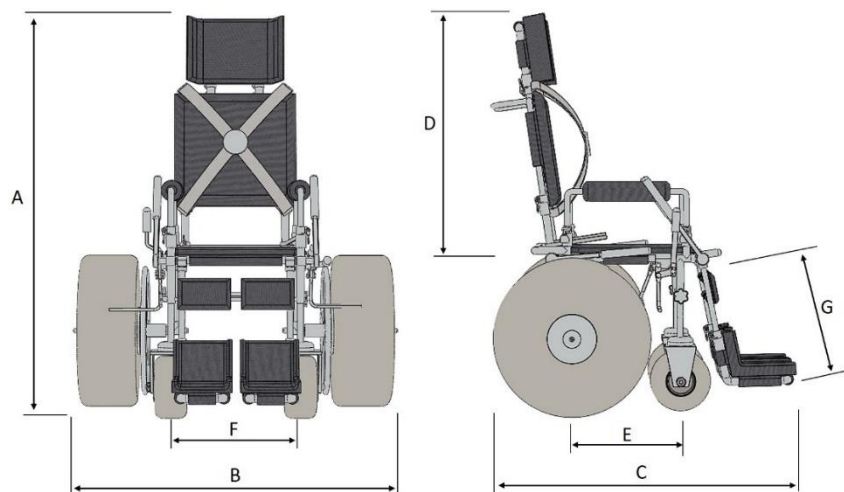


Figura 50 – Esquema com dimensões gerais da cadeira de rodas pessoal (versão praia)

Tabela 13 – Dimensões gerais da cadeira de rodas pessoal

Letra	Medida	Valor [mm]
A	Altura total	1452 – 1602
B	Largura total	1319
C	Comprimento Total	1204
D	Altura sentado	800 – 950
E	Profundidade do assento	510
F	Largura do assento	500
G	Comprimento de apoio de pernas	369 – 489

4.2.3. Componentes principais e material

A cadeira pode ser dividida em diversos componentes. Neste caso, contrariamente à cadeira pública, a estrutura principal encontra-se também dividida em diferentes componentes: o assento e as costas (ver Figura 51 e Tabela 14). Dado existirem diversas configurações para a cadeira, apresenta-se esquematizada apenas a configuração para o dia a dia.

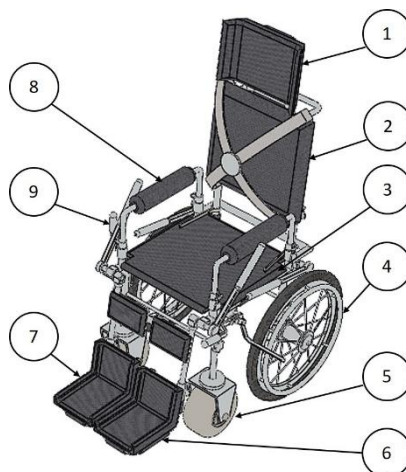


Figura 51 – Componentes principais da cadeira pessoal (versão quotidiano)

Tabela 14 – Componentes da cadeira pessoal

Número	Componente
1	Apoio de cabeça
2	Costas
3	Assento
4	Roda de tração
5	Rodízio
6	Apoio de perna esquerda
7	Apoio de perna direita
8	Apoio de braço
9	Sistema de travagem

Para além dos principais componentes referidos na tabela 14, é também importante mencionar os colchões, pois estes desempenham um papel fundamental no conforto da cadeira.

➤ Apoio de cabeça

O apoio de cabeça (ver Figura 52) tem por objetivo melhorar o conforto do utilizador. É um componente de extrema importância, nomeadamente neste caso, pois há a possibilidade de colocar a cadeira numa posição com costas inclinadas. É também um componente relevante nos casos de utilizadores cuja incapacidade inclui a não movimentação do pescoço. Apesar de não permitir uma alteração de tamanho elevada, é possível movimentar o colchão na vertical, podendo este percorrer cerca de 30 mm. Por forma a permitir este movimento, dois tubos são ligados por uma braçadeira utilizada neste tipo de sistema telescópico (ver secção 4.2.4. *Mecanismos principais*). Este componente é depois soldado num tubo das costas. Os tubos deverão ser num material resistente e não corrosivo após contacto com água do mar. O material deverá ainda ser leve, por forma a facilitar o transporte. Foi então considerado como material principal o alumínio (liga Al 6061-T6). Porém, dado que a presente cadeira poderá apresentar um maior custo, outros materiais a considerar são o titânio e a fibra de carbono. Existem dois tipos de tubos. Os de maior diâmetro, correspondendo aos exteriores no mecanismo tipo telescópio, têm um diâmetro exterior de 30 mm e um interior de 26 mm. Os tubos interiores no mecanismo tipo telescópio, têm um diâmetro externo de 24 mm e um interno de 20 mm. Estas dimensões dos diâmetros dos tubos são comuns em toda a cadeira.

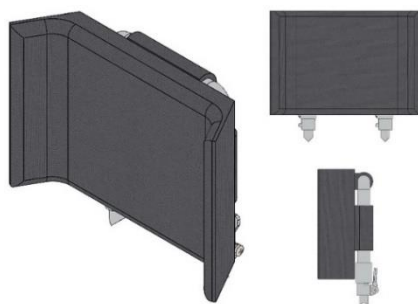


Figura 52 – Apoio de cabeça da cadeira pessoal

➤ Costas

Um dos principais componentes de uma cadeira de rodas é o encosto (ver Figura 53). Tal como no apoio de cabeça, este contém um mecanismo tipo telescópico que permite alterar o seu tamanho em 120 mm, no máximo. Como já referido, a presente cadeira permite inclinar as costas. Para tal é

essencial que a ligação entre as costas e o assento não seja fixa, sendo necessário um mecanismo de posição (ver secção 4.2.4. *Mecanismos principais*). Dado que este mecanismo não permite uma recolocação das costas na posição original (a cerca de 90° do assento), foram adicionadas umas fitas que, ao serem puxadas, permitem a elevação das costas até uma posição pretendida. O material destas fitas será o nylon, o mesmo utilizado para o cinto de segurança. Mais uma vez, o material a utilizar nos tubos pode ser alumínio, titânio ou fibra de carbono.



Figura 53 – Costas da cadeira pessoal

➤ Assento

O assento, tal como o encosto, é um dos principais componentes de uma cadeira de rodas (ver Figura 54). A sua ligação com as costas possui o mesmo mecanismo que a ligação com os apoios de pernas, permitindo colocar a cadeira em diferentes posições. A maior parte dos diferentes tubos existentes na estrutura do assento são soldados uns aos outros, permitindo uma ligação fixa. No entanto, os tubos nos quais irão ser acopladas as rodas não se encontram permanentemente fixos aos outros, por forma a permitir a sua desmontagem e facilitar o transporte da cadeira (ver secção 4.2.5. *Arrumação e transporte*). Tirando o colchão, o material dos restantes componentes do assento é o mesmo que o referido anteriormente nas costas e apoio de cabeça, ou seja, alumínio, titânio ou fibra de carbono. Estes materiais são também os utilizados na estrutura dos restantes componentes principais.

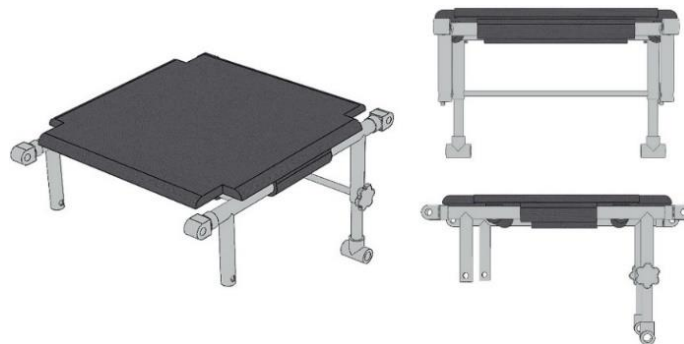


Figura 54 – Assento da cadeira pessoal

➤ Rodas de tração

As rodas de tração podem ser de dois tipos consoante o meio em que se encontra o utilizador. No caso de locais urbanos, é recomendada a utilização de rodas de tração comuns nas cadeiras de rodas (ver Figura 55 a)). Este tipo de rodas possui pneus pneumáticos finos e um aro de tração acoplado à jante, permitindo autonomia ao utilizador. Estas rodas apresentadas neste projeto foram baseadas nas

rodas fabricadas pela Quickie [37]. O segundo tipo consiste em rodas próprias para a praia (ver Figura 55 b)), com um pneu mais grosso e em PUR, próprio para ser utilizado em superfícies arenosas. De modo a permitir autonomia ao utilizador, a jante deverá ser diferente das normalmente existentes neste tipo de rodas, pois deverá conter um aro de tração. Estas rodas de praia têm por base as rodas de praia da WheelEEZ® [31]. Por forma a ser possível a troca das rodas, estas possuem um mecanismo, chamado *quick release*, que permite desacoplá-las da cadeira (ver secção 4.2.4. *Mecanismos principais*). Dado que a estrutura da cadeira não se altera aquando desta troca, ambos os tipos de rodas deverão ter aproximadamente o mesmo diâmetro, neste caso corresponde ao diâmetro das rodas do quotidiano, isto é, 24" ou 610 mm. Contudo, as rodas para a praia produzidas pela WheelEEZ® possuem um diâmetro máximo de 490 mm, pelo que as rodas a ser utilizadas nesta cadeira deverão ser personalizadas e produzidas especificamente para este projeto.

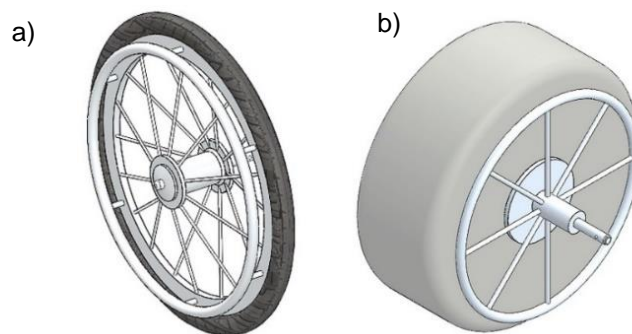


Figura 55 – Roda traseira da cadeira pessoal: a) versão quotidiano; b) versão praia

➤ Rodízios e Sistema de travagem

Os rodízios e o sistema de travagem (ver Figura 56) presentes neste modelo correspondem aos mesmos da cadeira pública (ver secções 4.1.3. *Componentes principais e material* e 4.1.4. *Mecanismos principais*).

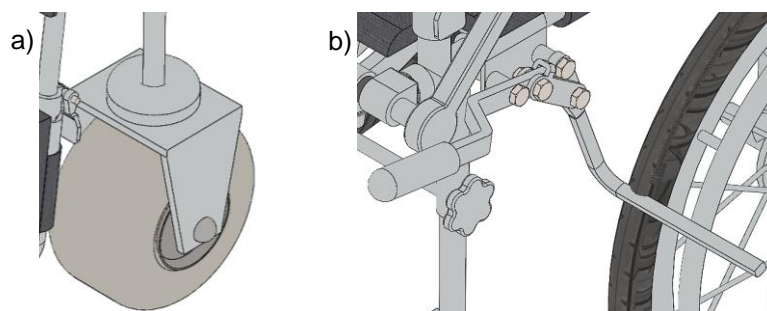


Figura 56 – a) Rodízio e b) Sistema de travagem existentes na cadeira

➤ Apoios de pernas

Os apoios de pernas, tal como as costas, possuem um mecanismo de ligação não fixo com o assento, o que permite elevar as pernas do utilizador e promover um maior conforto ao mesmo. Tal como nas costas e no apoio de cabeça, também os apoios de pernas possuem um mecanismo telescópico que permite alterar o comprimento destes apoios em 115 mm no máximo (ver Figura 57). À exceção dos tubos ligados por este mecanismo, os restantes estão ligados por soldadura.

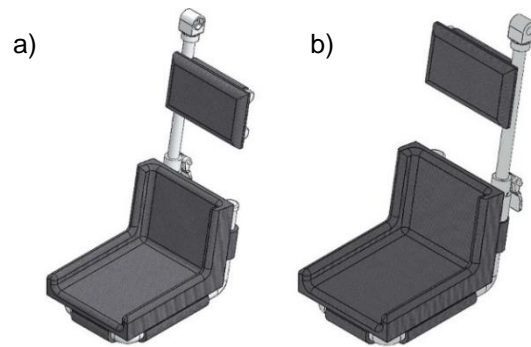


Figura 57 – Apoios de perna a) direita e b) esquerda da cadeira pessoal

➤ Apoios de braços

Os apoios de braços são soldados à estrutura principal do assento, permitindo que o utilizador repouse os braços nestes componentes. Mais uma vez, é aplicado o mecanismo tipo telescópico, por forma a permitir alterar a altura a que se encontram estes apoios (ver Figura 58). Conforme seja desejado, a altura deste apoio pode variar em 80 mm no máximo.



Figura 58 – Apoio de braço da cadeira pessoal

➤ Colchões

Tal como referido na secção 4.2.1. *Melhorias implementadas e solução final*, esta cadeira possui diversos colchões que proporcionam um melhor conforto ao utilizador. Assim como os colchões existentes na cadeira pública, também estes possuem uma abertura em velcro, possibilitando a sua remoção caso necessário (arrumação ou limpeza). No entanto, neste caso, os colchões possuem um revestimento em *Sunbrella Fabric* ^[32]. Este material é resistente ao desbotamento, 100% à prova d'água, resistente a mofo e bolor e seguro na presença de cloro. É, contudo, um tecido mais caro, comparativamente ao utilizado na cadeira pública. O interior, por sua vez, consiste numa espuma de Poliuretano, tal como na cadeira pública, mas com densidade elevada, tornando-a mais resistente e, portanto, mais adequada para usos diários e mais frequentes ^[33].

4.2.4. Mecanismos principais

Certas características desta cadeira exigem mecanismos específicos. Por forma a permitir o ajuste ao tamanho do corpo do utilizador, foi implementado um mecanismo de ajuste de tamanho. Relativamente às ligações entre o assento e as costas e entre o assento e os apoios de pernas, pretende-se que estas não sejam fixas, de modo a se poder colocar a cadeira em diversas posições. Para tal, foi desenvolvido um mecanismo de ajuste de posição. Tal como já referido, pretende-se que seja possível a troca das rodas, o que exige um mecanismo de remoção das mesmas (*Quick Release*).

Um outro mecanismo presente consiste num mecanismo de garra utilizado para diversos acessórios que podem ser adicionados à cadeira (ver secção 4.2.6. *Linha de acessórios*).

➤ **Mecanismo de ajuste de tamanho**

O mecanismo de ajuste de tamanho está presente nos componentes associados às dimensões do corpo a que se pretende a adaptação de tamanho. Este mecanismo consiste em ligar dois tubos de diâmetros diferentes através de uma braçadeira. Consiste, portanto, num mecanismo tipo telescópio. Ao apertar esta braçadeira os dois tubos encontram-se fixos um ao outro. No procedimento contrário, a braçadeira não fixa estes dois tubos, permitindo que o de menor diâmetro deslize e aumente o comprimento do conjunto ^[38]. Por forma a impedir a separação completa dos dois tubos, é adicionada uma pequena peça na extremidade do tubo de menor diâmetro. Esta peça, cujo diâmetro é superior ao mínimo existente na braçadeira, impede que o tubo interior saia por completo do conjunto. Esta braçadeira tem por base uma braçadeira produzida pela Dragonplate (ver Figura 59) utilizada neste tipo de mecanismos.



Figura 59 – Braçadeira de mecanismo tipo telescópio ^[38]

➤ **Mecanismo de ajuste de posição**

O ajuste de posição é uma característica de elevada importância, pois permite alterar a posição das costas e dos apoios de pernas. O mecanismo é composto por um parafuso que se encontra solidário com as costas ou os apoios de pernas, uma peça tipo alavanca que atua como porca e uma borracha que se encontra entre os componentes a ligar (ver Figura 60). Este mecanismo tem como objetivo fixar a ligação entre as costas ou os apoios de pernas e o assento apenas quando desejado. Esta fixação é alcançada através de um aperto e do atrito existente entre as peças. Este aperto é conseguido através da ligação aparafusada, exercendo uma força sobre a alavanca de modo a possibilitar a fixação da ligação. A borracha existente entre os componentes da ligação tem como objetivo aumentar o atrito.

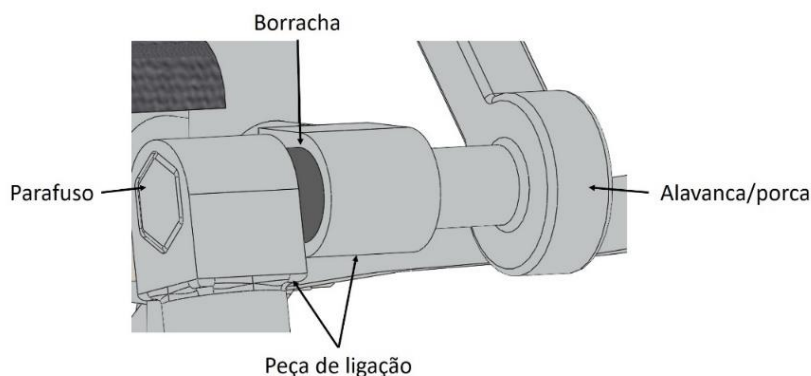


Figura 60 – Mecanismo de ajuste de posição

➤ Mecanismo de remoção de rodas (*Quick Release*)

O *quick release* é um mecanismo que permite remover as rodas da cadeira. Para além de permitir a troca das rodas, o que possibilita a utilização da cadeira em diferentes meios, este processo é também útil na arrumação e transporte da cadeira. Este mecanismo é composto por um pino que funciona como eixo da roda, uma mola, um botão, um eixo interno e duas pequenas esferas de mola (ver Figura 61). Quando a roda se encontra acoplada à cadeira, as esferas de mola são projetadas para fora do pino exterior, através de um furo, travando o pino e, por consequência, a roda. Este pino só pode ser removido quando o utilizador pressiona um botão na extremidade oposta à esfera. Este botão liberta a pressão das esferas de mola que mantém o pino travado na posição, permitindo sua remoção. Existem diversos tipos de *quick release*. O utilizado neste projeto, tem por base o mecanismo descrito que corresponde a um *quick release* produzido pela Monroe Engineering [39].

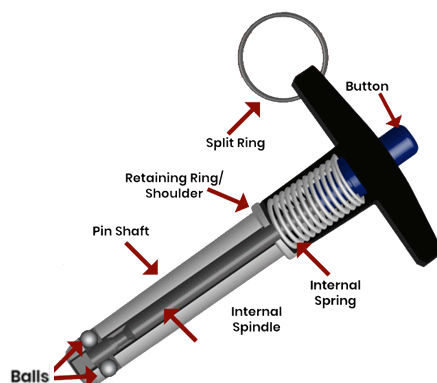


Figura 61 – Quick Release [39]

➤ Garra

Por forma a permitir adicionar diversos acessórios (ver secção 4.2.6. *Linha de acessórios*), é necessário um mecanismo que permita acoplar estes à cadeira. Assim, é utilizado um mecanismo tipo garra, baseado no mecanismo RAM® TOUGH-CLAW™ da Ram Mounts [40] (ver Figura 62). Este mecanismo é utilizado neste tipo de aplicações, permitindo a instalação e remoção rápidas de certos acessórios em barras redondas, quadradas ou de formato menos comum. A sua utilização deve ser apenas por forma a sustentar pequenos objetos, não devendo ser utilizado este mecanismo para suportar grandes pesos ou cargas.



Figura 62 – Exemplo de utilização de RAM® TOUGH-CLAW™ [40]

4.2.5. Arrumação e Transporte

No caso da cadeira pessoal, um dos requisitos mais importantes é a facilidade de transporte da cadeira. Esta cadeira apresenta uma estrutura que permita o fecho na horizontal (ver secção 2.1.1. *Estrutura*), permitindo rebater o encosto sobre o assento e remover as rodas de tração, utilizando o

quick release. Por forma a facilitar o transporte, é ainda possível proceder a uma desmontagem de certos componentes da cadeira. De seguida apresentam-se os diversos passos recomendados para a arrumação e transporte da cadeira pessoal.

1º. Remover colchões do assento e apoios de braços

Por forma a permitir um fácil rebatimento do encosto, é necessário remover os colchões dos apoios de braços e do assento (ver Figura 64).

2º. Rebater encosto sobre o assento e elevar os apoios de pernas

Tal como se pretende deste tipo de estrutura, o encosto deverá ser rebatido sob o assento para efeitos de arrumação, diminuindo o espaço que a cadeira ocupa. Para completar este passo, é recomendada a elevação dos apoios de pernas até estes encostarem ao colchão do apoio de cabeça (ver Figura 64).

3º. Remover as rodas traseiras

Dado que as rodas ocupam um volume elevado, nomeadamente as rodas próprias para a praia, estas deverão ser removidas e guardadas individualmente na bagageira do veículo no qual se pretende transportar a cadeira (ver Figura 64). Visto as rodas, quer as de praia quer as do meio urbano, possuírem um mecanismo *quick release*, é fácil removê-las para efeito de arrumação e transporte.

4º. Remover os rodízios

O próximo passo consiste na remoção dos rodízios, mais uma vez com o objetivo de diminuir o volume ocupado pela cadeira. Neste caso, os rodízios são removidos juntamente com os tubos aos quais se encontram ligados (ver Figura 64). Estes tubos são removidos facilmente da restante estrutura da cadeira, pois a sua ligação é feita através de um veio roscado, fácil de remover (ver Figura 63).

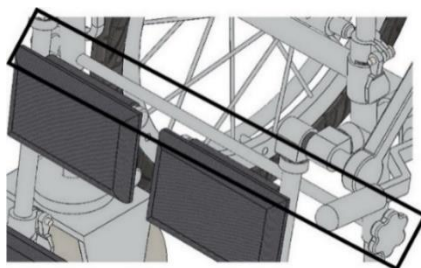


Figura 63 – Destaque de tubo de ligação dos rodízios

5º. Remover tubo de pernas traseiras da cadeira

Por fim, procede-se ao 5º e último passo de desmontagem da cadeira para a arrumação e transporte da mesma. Por forma a diminuir a altura do conjunto e a nivelar as superfícies sobre as quais a cadeira arrumada irá assentar, deverão remover-se os tubos nos quais se acoplam as rodas traseiras (ver Figura 64). Mais uma vez, consiste num processo relativamente fácil, pois estes tubos estão ligados à restante estrutura através de um tubo roscado idêntico ao referido no passo anterior.

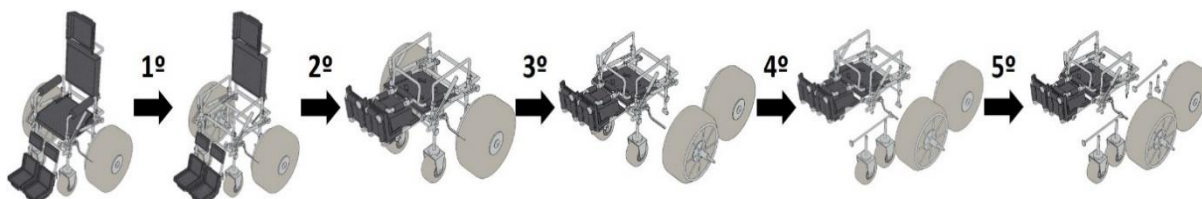


Figura 64 – Processo de arrumação e transporte

Extra: Remover sistema de travagem

Um passo extra possível consiste na remoção do sistema de travagem (ver Figura 65). No entanto, este passo apenas é possível utilizando ferramentas que permitam desmontar este sistema. Este passo apenas deverá ser executado em caso de extrema necessidade, devido à sua complexidade e dificuldade, comparativamente aos passos anteriores.

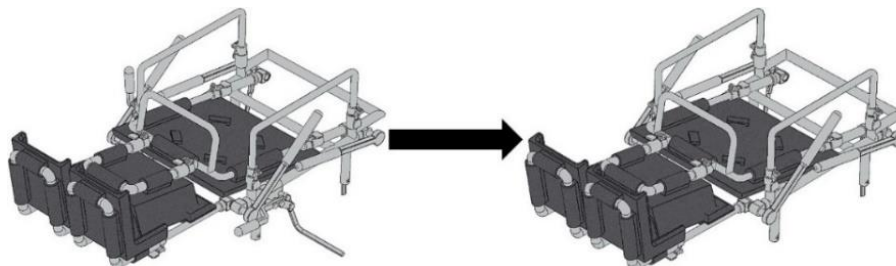


Figura 65 – Passo extra para arrumação e transporte

Configuração final e respetivas medidas

Após proceder a todos os passos, a cadeira ocupará um menor volume. No caso em que não se procede ao passo extra e se mantém o sistema de travagem acoplado à cadeira, as dimensões da configuração final são: 990 mm x 1274 mm x 480 mm (ver Figura 66 a)). Por outro lado, se o sistema de travagem for retirado, o volume da configuração final será ainda menor, com dimensões: 480 mm x 634 mm x 1274 mm (ver Figura 66 b)).

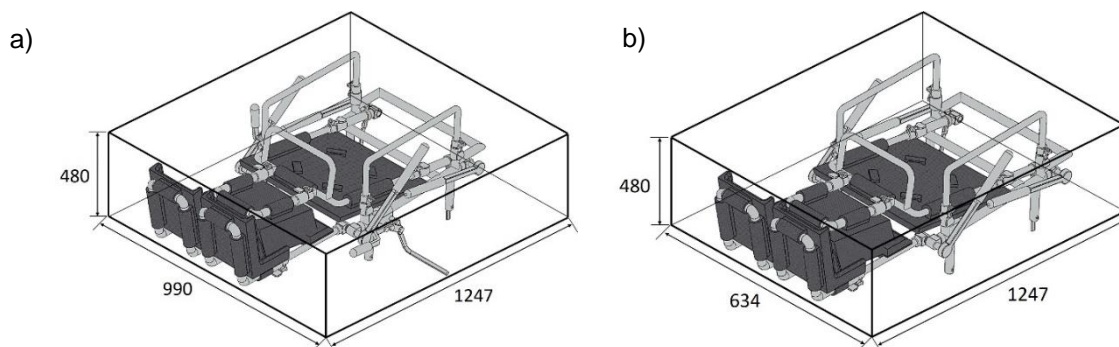


Figura 66 – Configuração final e respetivas medidas (mm): a) com travões; b) sem travões

4.2.6. Linha de acessórios

No questionário online desenvolvido foram pedidas opiniões e sugestões aos inquiridos por forma a melhorar uma cadeira de rodas de praia (ver secção 3.1. *Questionário desenvolvido e resultados obtidos*). Uma das sugestões apresentadas consiste na criação de uma linha de acessórios, como base de copos, tabuleiro, entre outros. Assim, foram criados diversos acessórios que estariam incluídos na compra da cadeira: suporte de chapéu de sol; tabuleiro; suporte para copos; suporte de telemóvel; cinto de segurança; flutuadores.

➤ Suporte de chapéu de sol

O suporte de chapéu de sol (ver Figura 67 a)) consiste numa peça relativamente simples e constitui um dos componentes dos chapéus de sol comuns. O tubo do chapéu é inserido no orifício do suporte e é depois apertado, evitando o seu movimento. Esta peça permite também colocar o chapéu à altura desejada, não exigindo uma posição fixa.

➤ **Tabuleiro**

Por forma a permitir pousar objetos, é possível instalar um tabuleiro (ver Figura 67 b)). Este acessório apenas pode ser utilizado após a remoção dos colchões existentes no apoio de braços. Na superfície do tabuleiro existe ainda um suporte para copos.

➤ **Suporte para copos**

O suporte para copos (ver Figura 67 c)) permite ao utilizador pousar um copo sem a necessidade do tabuleiro previamente referido. Caso apenas deseje uma bebida, não sendo portanto necessária uma superfície lisa, este acessório é uma possível alternativa.

➤ **Suporte de telemóvel**

O suporte de telemóvel (ver Figura 67 d)) é um acessório muito comum atualmente, sendo maioritariamente utilizado em veículos. Neste caso, este suporte permite ao utilizador pousar o telemóvel sem a necessidade de uma superfície como o tabuleiro. Permite também que o telemóvel seja utilizado enquanto se encontra no suporte. Este componente permite a utilização para telemóveis com medidas e características mais atuais (smartphones ou iphones).

➤ **Cinto de segurança**

O cinto de segurança (ver Figura 67 e)) constitui uma medida de segurança importante e, neste caso, trata-se de um cinto cruzado ao peito. Por forma a se manter numa certa posição, na superfície de trás do colchão das costas existem uns pequenos orifícios por onde deverão passar as tiras do cinto, impedindo que este descaia.

➤ **Flutuadores**

Os flutuadores são acessórios que permitem utilizar a cadeira de rodas no mar, possibilitando a sua flutuação. É possível acoplar à cadeira dois tipos de flutuadores: flutuador de braços e flutuador de pernas (ver Figura 67 f)). Tal como indicado pelo nome, o flutuador dos braços é acoplado aos tubos que constituem o suporte de braços, sendo necessária a remoção dos colchões. O flutuador de pernas é acoplado nos apoios de pernas, requerendo que a cadeira se encontre na posição deitado. Estes flutuadores possuem uma cor amarela de modo a que sejam visíveis e reconhecíveis no mar, assegurando que o utilizador da cadeira se encontra visível para quem esteja a vigiar a praia.

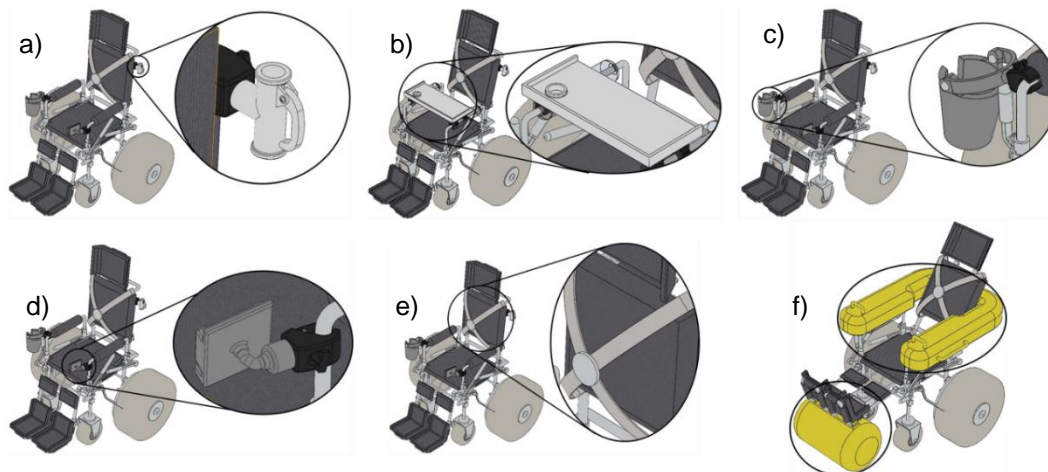


Figura 67 – Acessórios: a) suporte de chapéu de sol; b) tabuleiro; c) suporte para copos; d) suporte de telemóvel; e) cinto de segurança; f) flutuadores

5. Notas de cálculo

Neste capítulo apresentam-se os cálculos e análises referentes aos projetos de ambas as cadeiras. Primeiramente, apresentam-se para a cadeira pública e, posteriormente, para a cadeira pessoal.

5.1. Cadeira pública

5.1.1. Materiais e respetivas propriedades

O material dos tubos utilizados na construção desta cadeira é o PVC rígido. É, contudo, importante referir que os tubos de menor diâmetro existentes nas costas da estrutura principal e nos apoios de pernas são tubos de liga de alumínio (Al 6061-T6). Estes tubos localizam-se nas regiões onde é possível ajustar o tamanho da cadeira. Recorreu-se ao alumínio por forma a tornar estes locais mais resistentes, mantendo um baixo custo e peso. O alumínio é também um material que praticamente não oxida na presença da água do mar, devido à formação de uma película protetora, pelo que se torna indicada a sua utilização. De seguida apresenta-se uma tabela com as principais propriedades dos dois materiais referidos: PVC ^[41] e Al 6061-T6 ^[42].

Tabela 15 – Propriedades mecânicas dos materiais da cadeira pública ^{[41][42]}

Material	Massa específica ρ [kg/m ³]	Tensão de cedência S_y [MPa]	Tensão de rutura S_u [MPa]	Módulo de elasticidade E [GPa]
PVC	1300 – 1490	41,4 – 52,7	41,4 – 52,7	2,48 – 3,3
Al 6061-T6	2700	276	310	68,9

5.1.2. Cálculo do centro de massa

Por forma a determinar o centro de massa do conjunto cadeira + pessoa, primeiramente calcula-se individualmente o centro de massa de cada um.

➤ Cálculo do centro de massa da pessoa

No caso presente, o centro de massa da pessoa a calcular corresponde ao seu centro de massa na posição sentado. Este cálculo está dependente da altura e peso/massa da pessoa. Como tal considerou-se os seguintes valores: altura (h) = 1,80 m = 180 cm; massa (m) = 80 kg = 176,4 lbs. A conversão das unidades é necessária, pois a expressão utilizada para o cálculo da estimativa do centro de massa (1) ^[43] não se encontra em unidades SI.

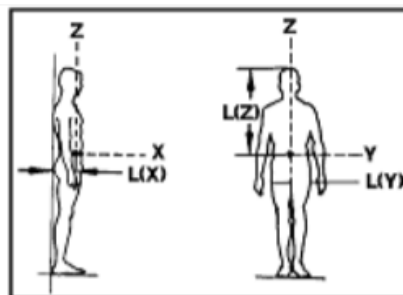
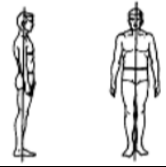
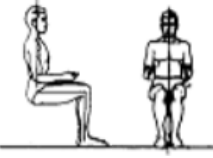


Figura 68 – Coordenadas genéricas do centro de massa de uma pessoa ^[43]

$$L_H = A \times h \text{ (cm)} + B \times m \text{ (lb)} + C \quad (1)$$

Os valores das constantes A, B e C dependem da posição da pessoa (ver Tabela 16).

Tabela 16 – Valor das constantes para estimativa do centro de massa de uma pessoa ^[43]

Posição	Dimensão	A	B	C
De pé 	$L_H(x)$	-0,035	0,024	11,008
	$L_H(y)$	0	0,021	8,609
	$L_H(z)$	0,486	-0,014	-4,775
Sentado 	$L_H(x)$	0,080	0,010	4,450
	$L_H(y)$	0	0,021	8,609
	$L_H(z)$	0,344	-0,004	7,327

Apesar de ser possível estimar as três coordenadas do centro de massa, a única indispensável para futuros cálculos é a coordenada segundo x, ou seja, $L_H(x)$ (ver Figura 69). Assim, utilizando os valores das constantes para o caso de uma pessoa sentada, obtém-se:

$$L_H(x) = 0,080 \times 180 + 0,010 \times 176,4 + 4,450 = 20,614 \text{ cm} = 206,14 \text{ mm} \quad (2)$$



Figura 69 – Esquema representativo de coordenada segundo x do centro de massa de pessoa sentada

➤ Cálculo do centro de massa da cadeira

Dado que foi criado um modelo 3D da cadeira de rodas através do SW, é possível recorrer a este programa e obter o centro de massa do modelo através de um comando. Ao clicar, na barra de tarefas “Assembly”, em “Reference Geometry” e depois em “Centre of mass”, o programa apresenta o centro de massa do modelo (ver Figura 70).

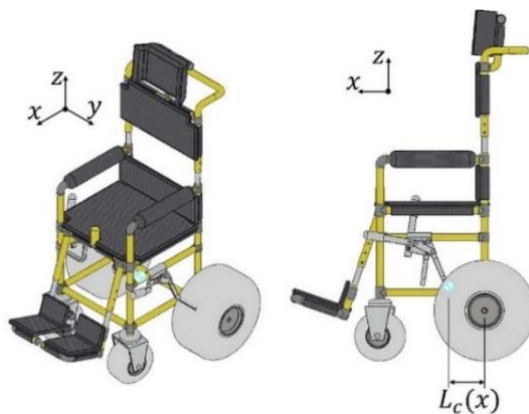


Figura 70 – Centro de massa da cadeira pública

Utilizando a ferramenta de medida “measure” é possível obter a distância deste centro de gravidade a um outro ponto de referência. Este ponto de referência deverá corresponder ao mesmo utilizado para

a estimativa do centro de massa da pessoa, calculado anteriormente. Dado que para uma pessoa sentada, a coordenada $L_H(x)$ corresponde à distância entre o centro de massa e o plano das costas, neste caso é necessário medir a distância entre o centro de massa da cadeira e o fim do assento (ver Figura 70). Obtém-se então $L_C(x) = 173,05$ mm.

É importante referir que este valor na realidade não será completamente igual ao apresentado pelo SW. O programa estima este centro de massa com base nas dimensões e peso de cada componente, sendo que este último é por sua vez estimado com base nas dimensões e densidade do material atribuído ao componente. No entanto, verificou-se que a estimativa da massa das rodas não corresponde à massa indicada no website da WheelEEZ®^[31]. De acordo com o website as rodas teriam uma massa de cerca de 2,8 kg cada (rodas traseiras e não rodízios), enquanto que o SW atribui a estes componentes uma massa de cerca de 10 kg cada. É uma diferença significativa, pelo que o valor de $L_C(x)$ corresponde a uma aproximação algo grosseira, devendo este valor ser superior ao que se apresenta, pois na realidade o centro de gravidade encontra-se mais afastado das rodas traseiras. Contudo, verifica-se que um valor superior de $L_C(x)$ corresponde a uma situação mais favorável nos casos críticos apresentados na secção 5.1.7. *Situações críticas*.

➤ Cálculo do centro de massa do conjunto cadeira e pessoa

O centro de massa de um conjunto com i componentes é dado por:

$$L(x) = \frac{\sum x_i \times m_i}{\sum m_i} \quad (3)$$

O conjunto contém dois componentes, a cadeira e a pessoa, tendo-se $x_{cadeira} = L_C(x) = 173,05$ mm e $x_{pessoa} = L_H(x) = 206,14$ mm. Relativamente às massas, considerou-se que a pessoa pesaria cerca de 80 kg, ou seja, $m_{pessoa} = 80$ kg. Relativamente à cadeira, é possível obter este valor através do SW. No entanto, dado que a massa das rodas estimada pelo programa não corresponde à massa real destas, obteve-se apenas a massa da estrutura: $m_{estrutura} = 7,5$ kg. Sabendo, através do website da WheelEEZ®^[31], que as rodas traseiras pesam cerca de 2,8 kg (m_{roda}) cada e os rodízios pesam 0,7 kg ($m_{rodízio}$) cada, é possível obter a massa total da cadeira:

$$m_{cadeira} = m_{estrutura} + 2 \times m_{roda} + 2 \times m_{rodízio} = 14,5 \text{ kg} \quad (4)$$

É então possível calcular o valor de $L(x)$ do conjunto:

$$L(x) = \frac{(x \times m)_{cadeira} + (x \times m)_{pessoa}}{m_{cadeira} + m_{pessoa}} = \frac{173,05 \times 14,5 + 206,14 \times 80}{14,5 + 80} = 201,06 \text{ mm} \quad (5)$$

5.1.3. Malha de elementos finitos

Face a necessidade de análise de um modelo complexo tridimensional, recorreu-se ao método de Elementos Finitos. Para aplicar este método numérico, recorreu-se ao programa Siemens NX. Importando o modelo 3D do SW para o NX é, depois, possível a criação de uma malha (Mesh) de elementos finitos. Neste caso optou-se por elementos finitos tetraédricos com 4 nós (CTETRA4). Para criar esta malha é atribuída uma dimensão ao EF, sendo que neste caso toda a malha irá possuir elementos finitos com a mesma dimensão. Optou-se, como malha inicial, atribuir aos EF a dimensão automática definida pelo programa.

Ao invés de analisar toda a cadeira, optou-se por analisar individualmente a estrutura principal e o apoio de perna. Assim, para a estrutura principal, a dimensão dos EF da malha inicial é 7,62 mm e a

malha possui 598691 elementos (ver Figura 71 a)). No caso do apoio de pernas, a malha possui 73772 elementos com uma dimensão de 7,62 mm (ver Figura 71 b)).

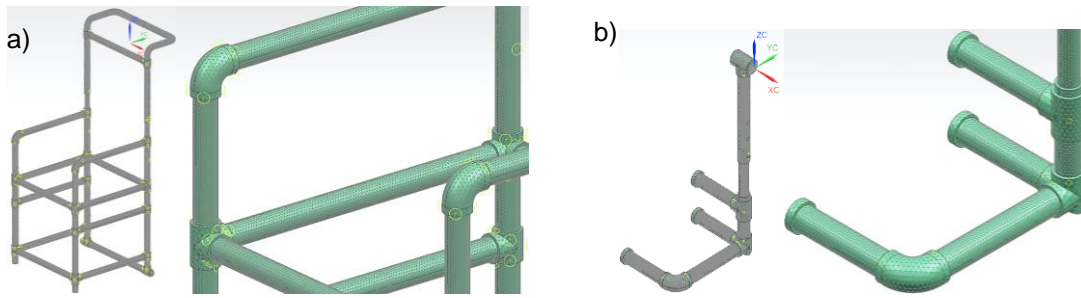


Figura 71 – Malha de EF: a) estrutura principal; b) apoio de perna

5.1.4. Cenários de carga da estrutura principal

O próximo passo consiste em submeter a estrutura principal da cadeira a diferentes cenários de carga, analisando os valores correspondentes de tensão e deslocamento. Esta análise permite identificar os componentes críticos de cada cenário, bem como a sua tensão e deslocamento máximos. Após obtido o valor da tensão máxima, segundo o critério von Mises (σ_{VM}), é possível compará-lo com o valor da tensão de cedência do material e obter o fator de segurança respetivo (6). Este fator indica a segurança da estrutura e o seu valor deve ser superior a 1 para não se dar a cedência do material.

$$n = \frac{S_y}{\sigma_{VM}} \quad (6)$$

➤ Estrutura submetida apenas ao peso do conjunto

Neste cenário de carga considera-se que a cadeira apenas está sujeita ao seu peso e ao peso do utilizador (ver Figura 72). Os apoios traseiros apresentam constrangimento de translação, estando constrangidos os graus de liberdade de translação e livres os de rotação, isto é, $U_x = U_y = U_z = 0$, correspondendo às rodas estarem travadas. Os apoios frontais apresentam apenas constrangimento vertical ($U_z = 0$). A força P corresponde a um quarto do peso do conjunto, pois considera-se que o peso está igualmente distribuído pelos quatro tubos que constituem o assento (ver Figura 72 a)).

$$P = \frac{1}{4} \times (m_{cadeira} + m_{pessoa}) \times 9,81 = \frac{1}{4} \times (7,5 + 80) \times 9,81 = 214,6 \text{ N} \quad (7)$$

Para obter os respetivos valores de tensão e deslocamento recorreu-se ao programa NX, realizando neste uma análise estática (ver Figura 72 b)).

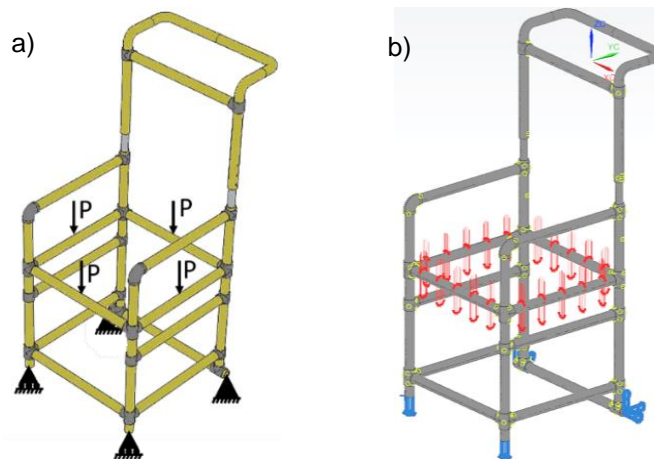


Figura 72 – Estrutura submetida a peso do conjunto: a) esquema; b) NX

Após a análise, obtiveram-se resultados respectivos à tensão e ao deslocamento (ver Figura 73).

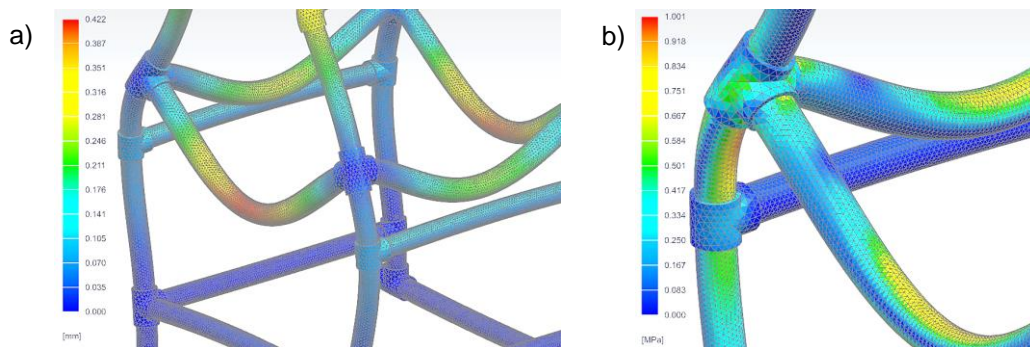


Figura 73 – Resultado da análise NX: a) deslocamento; b) tensão máxima

Verifica-se que o maior deslocamento ocorre nos tubos do assento, sendo o seu valor 0,422 mm, o que pode ser considerado como desprezável, dadas as dimensões da cadeira. O valor máximo da tensão ocorre nos tubos das pernas da estrutura (tubos em PVC), junto do local da junção destes com os tubos do assento. Este valor máximo de tensão corresponde a $\sigma_{VM} = 1,001$ MPa. Por forma a garantir uma solução correta, desenvolveu-se um estudo da convergência da solução relativamente à tensão. Procedeu-se ao refinamento da malha e obteve-se uma nova solução. Este processo foi repetido, obtendo-se um total de três malhas e três respetivas soluções (ver Figura 74).

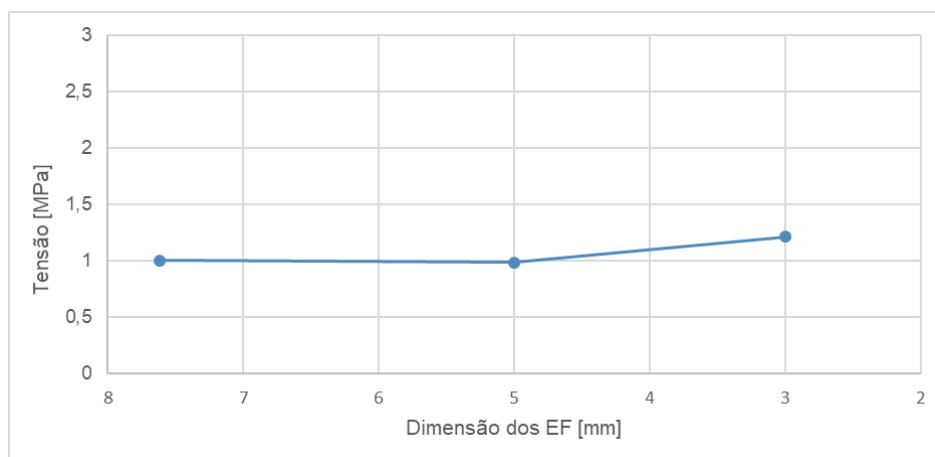


Figura 74 – Gráfico relativo à análise de convergência da solução

Analisando o gráfico da Figura 74, verifica-se que a variação da tensão não é significativa, pelo que se conclui que a malha inicial apresenta uma boa aproximação. Sabendo, pela Tabela 15, que S_y (PVC) = 41,4 MPa e substituindo na equação (6), tem-se:

$$n = \frac{41,4}{1,001} = 41,36 \quad (8)$$

Dado que o valor de n é muito superior a 1, verifica-se a segurança da estrutura neste cenário de carga.

➤ Estrutura submetida ao peso do conjunto e a uma força de empurrar

Neste cenário de carga, em adição à força P , está também aplicada uma força F , que corresponde à força exercida para empurrar a cadeira (ver Figura 75). Os apoios apresentam os mesmos constrangimentos que no cenário anterior. O valor da força P mantém-se e considerou-se $F = 300$ N. Mais uma vez, recorreu-se ao NX para obter uma solução numérica (ver Figura 76).

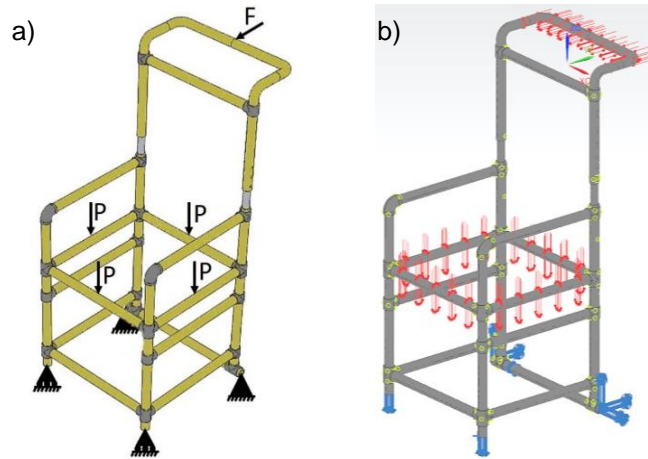


Figura 75 – Estrutura submetida a peso do conjunto e força de empurrar: a) esquema; b) NX

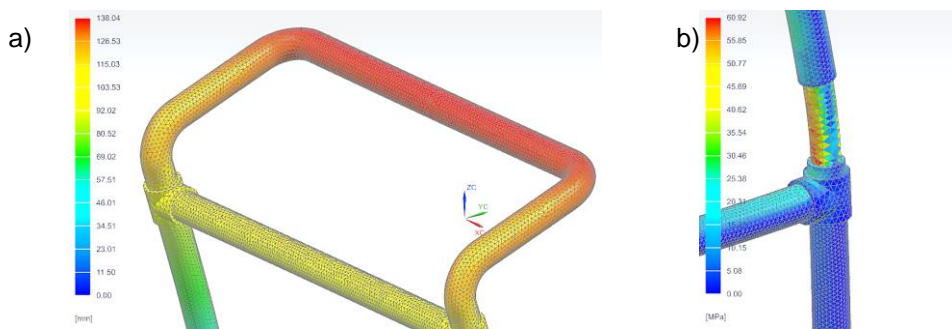


Figura 76 – Resultado da análise NX: a) deslocamento; b) tensão máxima

Analisando a figura 76, verifica-se que o deslocamento máximo ocorre na pega e tem um valor de 138,04 mm. Este valor é relativamente elevado, no entanto, não corresponde a uma elevada deformação do material, mas sim à distância que estes elementos da pega percorrem. O local onde se dá de facto a deformação do material é o mesmo onde a tensão é máxima, não sendo significativo neste caso. Relativamente à tensão máxima, esta ocorre nos tubos de alumínio existentes no local onde se encontra o mecanismo que permite alterar a altura das costas da cadeira. O seu valor é 60,92 MPa e deverá ser comparado com o valor nominal da tensão de cedência da liga de alumínio. Nos restantes tubos, em PVC, o valor da tensão não ultrapassa os 30 MPa. Fazendo um estudo de convergência verifica-se mais uma vez que o valor da tensão máxima não sofre alteração significativa com o refinamento da malha (ver Figura 77).

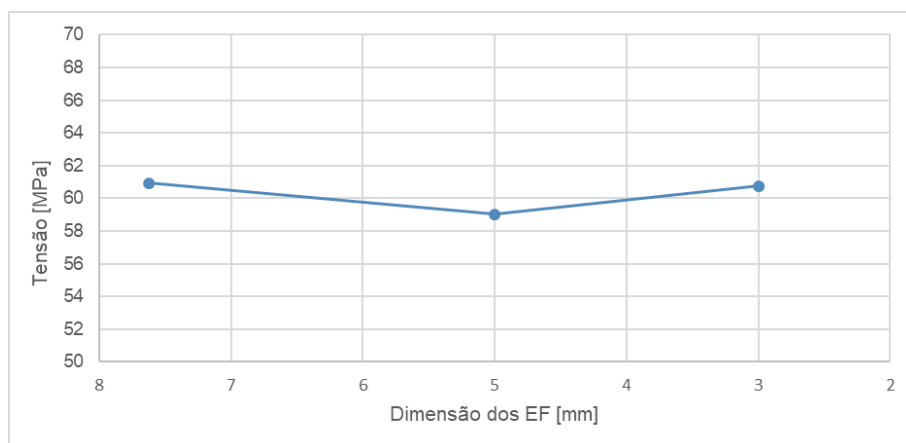


Figura 77 – Gráfico relativo à análise de convergência da solução

Sabendo, pela Tabela 15, que S_y (PVC) = 41,4 MPa e S_y (Al 6061-T6) = 276 MPa e substituindo na equação (6), tem-se:

$$\begin{cases} n_{PVC} = \frac{41,4}{30} = 1,38 \\ n_{Al} = \frac{276}{60,92} = 4,53 \end{cases} \quad (9)$$

Analisando os valores dos fatores de segurança, conclui-se que verifica para ambos os materiais.

➤ **Estrutura submetida ao peso do conjunto e a uma força de encostar**

Neste cenário de carga, em adição à força P, está também aplicada uma força F, que corresponde à força exercida pelo utilizador ao encostar-se nas costas da cadeira (ver Figura 78). Os apoios apresentam os mesmos constrangimentos que nos cenários anteriores. O valor da força P mantém-se e considerou-se $F = 300$ N. Mais uma vez, recorreu-se ao NX para obter uma solução numérica (ver Figura 79).

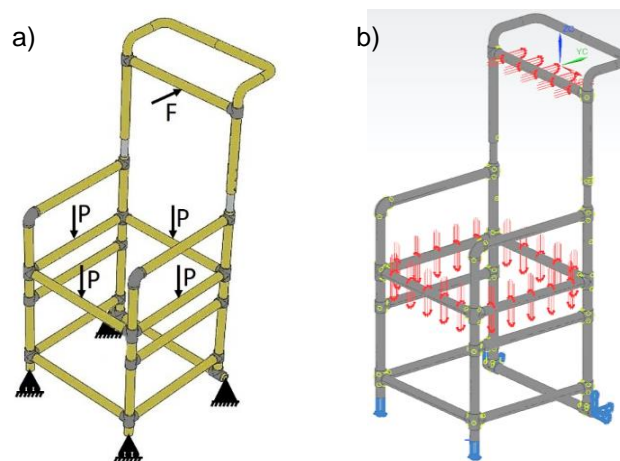


Figura 78 – Estrutura submetida a peso do conjunto e força de encostar: a) esquema; b) NX

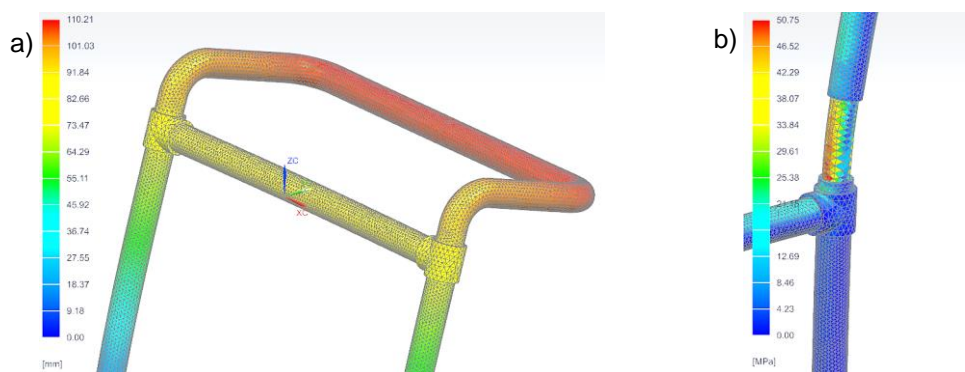


Figura 79 – Resultado da análise NX: a) deslocamento; b) tensão máxima

Verifica-se que o deslocamento máximo ocorre novamente na pega e tem um valor de 110,21 mm. Dado que este valor não corresponde a uma elevada deformação do material, não se considera significativo. Relativamente à tensão máxima, esta ocorre também nos tubos de alumínio e o seu valor é 50,75 MPa. Nos restantes tubos, em PVC, o valor da tensão não ultrapassa os 25 MPa. Fazendo um estudo de convergência, conclui-se que o valor da tensão máxima pouco se altera com o refinamento da malha, pelo que pode considerar-se a malha inicial (ver Figura 80).

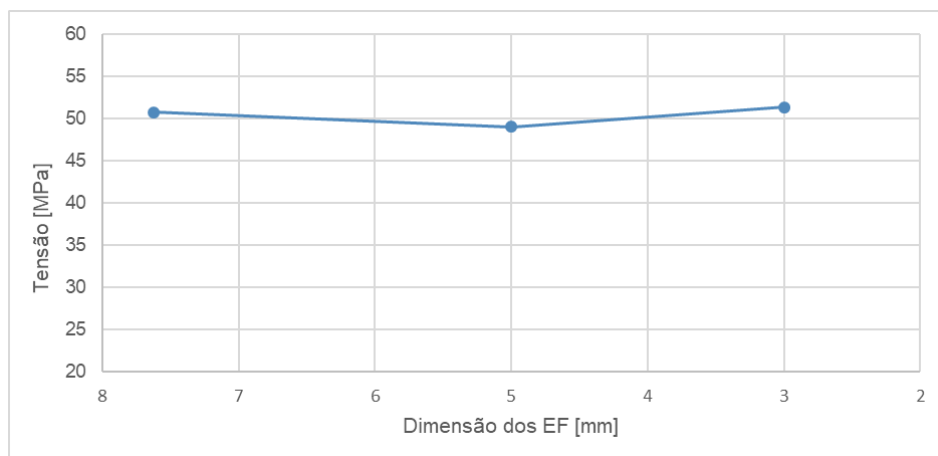


Figura 80 – Gráfico relativo à análise de convergência da solução

Sabendo, pela Tabela 15, que S_y (PVC) = 41,4 MPa e S_y (Al 6061-T6) = 276 MPa e substituindo na equação (6), tem-se:

$$\begin{cases} n_{PVC} = \frac{41,4}{25} = 1,66 \\ n_{Al} = \frac{276}{50,75} = 5,44 \end{cases} \quad (10)$$

Analisando os valores dos fatores de segurança, conclui-se que verifica para ambos os materiais.

➤ Estrutura submetida ao peso da pessoa nos braços

No último cenário de carga da estrutura, a força P corresponde apenas a um quarto do peso da estrutura, pois este peso considera-se igualmente distribuído pelos quatro tubos que formam o assento. A força F, por sua vez, corresponde à força exercida pelo utilizador em cada apoio de braços ao se tentar levantar apoiando-se nestes, ou seja, a metade do seu peso (ver Figura 81). Os apoios apresentam os mesmos constrangimentos que nos cenários anteriores. Relativamente às forças, tem-se os seguintes valores: P = 18,4 N e F = 392,4 N. Recorreu-se, de novo, ao NX para obter uma solução numérica (ver Figura 82).

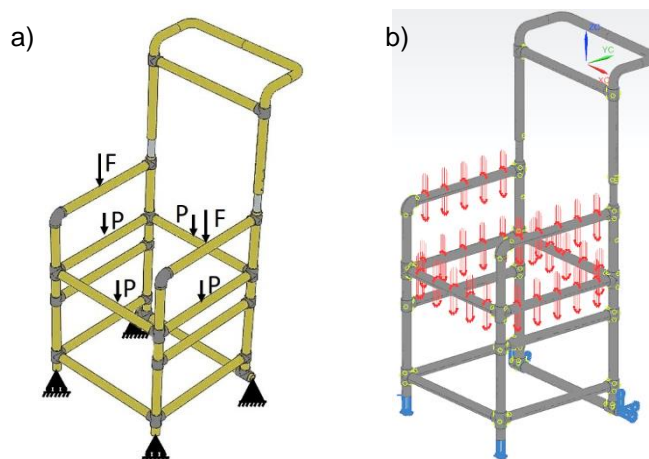


Figura 81 – Estrutura submetida a peso do utilizador nos braços: a) esquema; b) NX

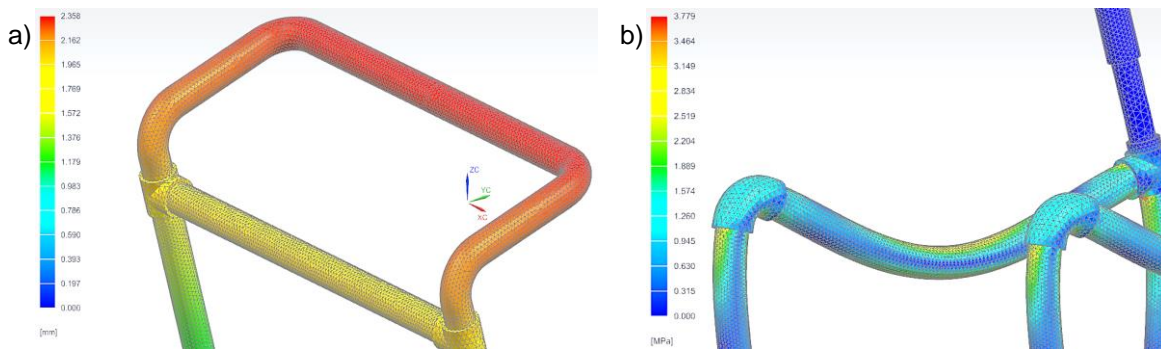


Figura 82 – Resultado da análise NX: a) deslocamento; b) tensão máxima

Analisando a figura 82, verifica-se que o deslocamento máximo ocorre de novo na pega, com um valor de 2,358 mm, e a tensão máxima ocorre também nos tubos PVC das costas da cadeira, junto à ligação com os apoios de braços, com um valor de 3,779 MPa. Fazendo um estudo de convergência verifica-se mais uma vez que o valor do deslocamento máximo não sofre alteração significativa com o refinamento da malha, pelo que pode considerar-se a malha inicial (ver Figura 83)

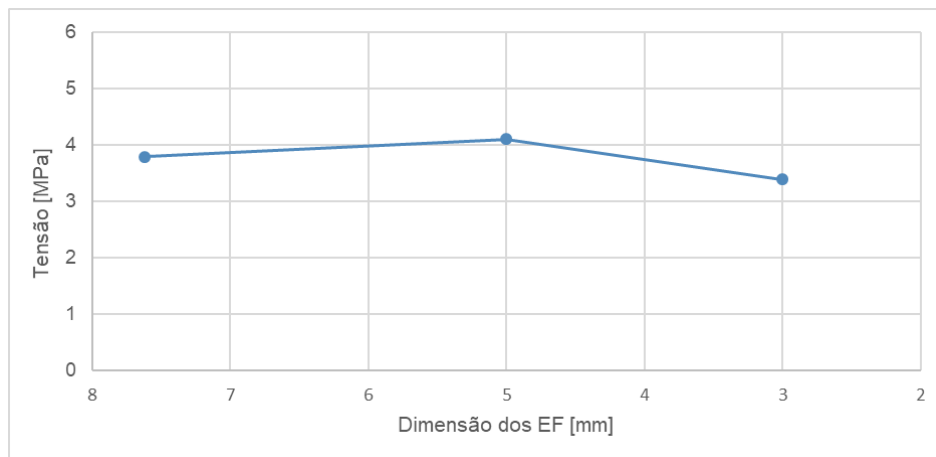


Figura 83 – Gráfico relativo à análise de convergência da solução

Sabendo, pela Tabela 15, que S_y (PVC) = 41,4 MPa e substituindo na equação (6), tem-se:

$$n = \frac{41,4}{3,779} = 10,96 \quad (11)$$

Pelo resultado obtido, conclui-se que a estrutura verifica a segurança para este cenário de carga.

5.1.5. Cenários de carga do apoio de perna

Tal como para a estrutura principal, também é necessário analisar diversos cenários de carga para o apoio de perna. É de novo utilizado o NX para a análise numérica, analisando os valores do deslocamento e da tensão obtidos em cada solução. Após obtido o valor da tensão máxima, este deverá ser comparado com a tensão de cedência do material em questão. Desta comparação, obtém-se novamente, através da equação (6), o valor do fator de segurança.

➤ Apoio de perna submetido apenas ao peso da perna

No primeiro caso analisado, o apoio de perna apenas se encontra submetido ao peso da perna do utilizador. Considera-se, por excesso, que o peso de uma perna corresponde a cerca de 14 kg. Destes 14 kg, a maior parte é aplicada na base do apoio de perna. Contudo considerou-se que uma parte é

aplicada no encosto do calcanhar, dado que o apoio de perna apresenta alguma inclinação (ver Figura 84). Relativamente aos constrangimentos, considera-se que a peça que permite a ligação entre o apoio de perna e a restante estrutura se encontra fixa. Como tal, aplicou-se um constrangimento de translação ($U_x = U_y = U_z = 0$) a duas das faces desta peça (ver Figura 85 a)).

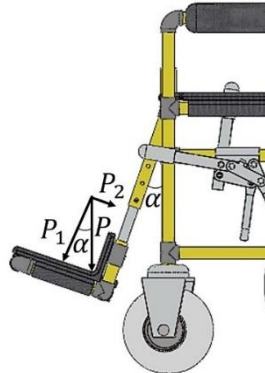


Figura 84 – Esquema ilustrativo da inclinação do apoio de perna

Sabendo que a inclinação do apoio de perna corresponde a $\alpha = 12^\circ$ e P corresponde ao peso total da perna, tem-se:

$$\begin{cases} P_1 = \frac{1}{3} \times P \times \cos \alpha = \frac{1}{3} \times 14 \times 9,81 \times \cos 8^\circ \approx 44 \text{ N} \\ P_2 = P \times \sin \alpha = 14 \times 9,81 \times \sin 8^\circ \approx 28 \text{ N} \end{cases} \quad (12)$$

No caso de P_1 , considerou-se apenas um terço, pois esta componente do peso está uniformemente distribuída pelos três tubos correspondentes. Para obter os respetivos valores de tensão e deslocamento recorreu-se ao programa NX, realizando neste uma análise estática (ver Figura 85 b)).

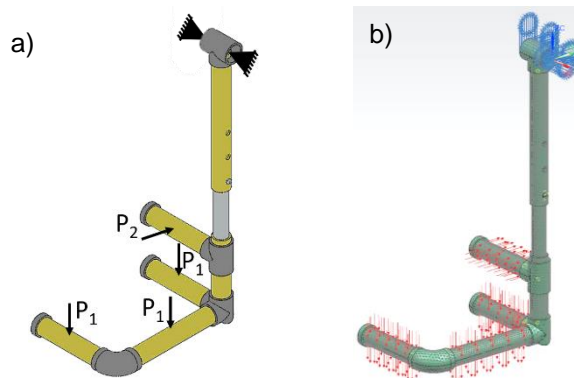


Figura 85 – Apoio de perna submetido a peso da perna: a) esquema; b) NX

Após a análise, obtiveram-se resultados relativos à tensão e ao deslocamento (ver Figura 86).

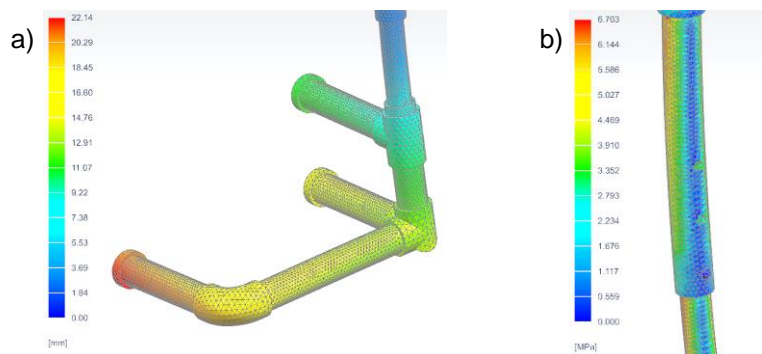


Figura 86 – Resultado da análise NX: tensão máxima

Verifica-se que o maior deslocamento ocorre na extremidade do apoio do pé, sendo o seu valor 22,14 mm. Este valor, contudo, não corresponde à deformação do material, pelo que não é considerado significativo. O valor máximo da tensão ocorre no tubo em PVC junto da peça que conecta o apoio com a restante estrutura e ocorre também no tubo de menor diâmetro. Este segundo tubo corresponde ao tubo em alumínio no qual se incorpora o mecanismo de ajuste de tamanho. Este valor máximo de tensão corresponde a $\sigma_{VM} = 6,703$ MPa. Desenvolveu-se novamente um estudo da convergência da solução relativamente à tensão (ver Figura 87).

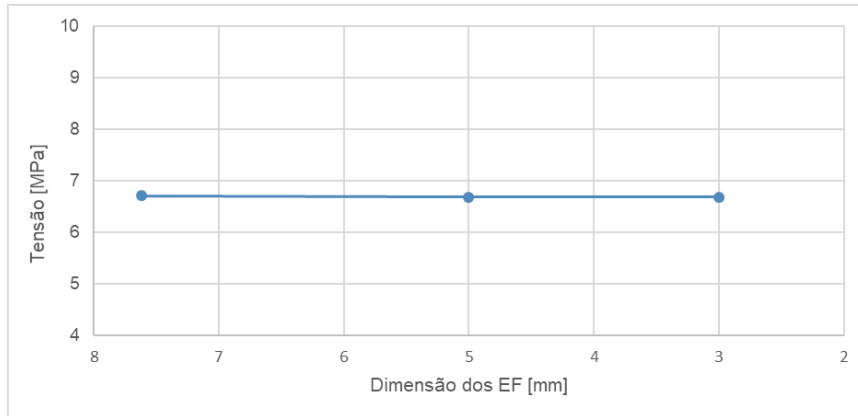


Figura 87 – Gráfico relativo à análise de convergência da solução

Analisando o gráfico da Figura 87, verifica-se que a variação do deslocamento é desprezável, pelo que se conclui que a malha inicial apresenta uma boa aproximação. Sabendo, pela Tabela 15, que S_y (PVC) = 41,4 MPa e substituindo na equação (6), tem-se:

$$n = \frac{41,4}{6,703} = 6,18 \quad (13)$$

Analisando o valor de n , verifica-se a segurança do apoio de perna neste cenário de carga.

➤ Apoios de pernas submetidos ao peso total da pessoa

Este cenário de carga corresponde ao caso de o utilizador se levantar em cima dos apoios de pernas, sendo que o seu peso será igualmente distribuído por cada apoio de perna. Assim, considera-se que existe apenas uma componente da força, exercida nos tubos do apoio do pé. O valor desta força corresponde a um terço de metade do peso da pessoa, ou seja, $P = 131$ N, pois considera-se que o peso está igualmente distribuído pelos três tubos que constituem o assento do pé. Os constrangimentos correspondem aos mesmos do cenário anterior (ver Figura 88). Recorrendo ao NX, foi possível obter uma solução numérica (ver Figura 89).

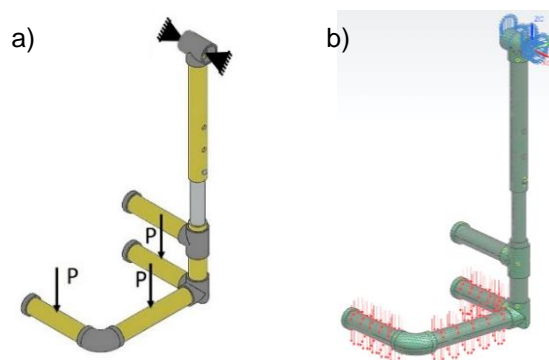


Figura 88 – Apoio de perna submetido ao peso total da pessoa: a) esquema; b) NX

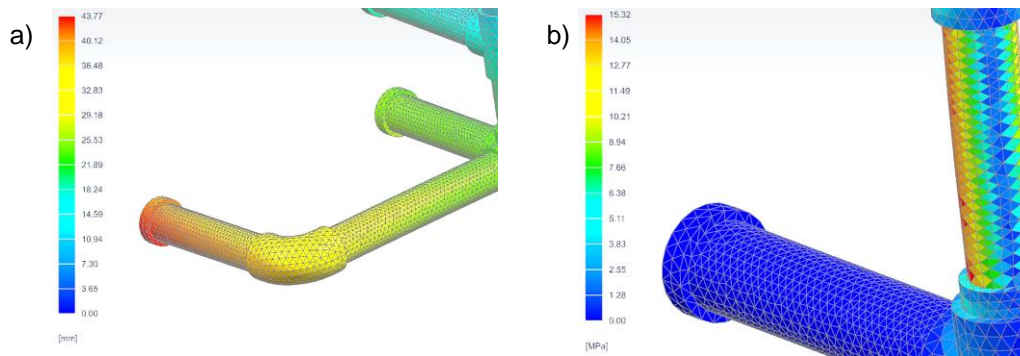


Figura 89 – Resultado da análise NX: a) deslocamento; b) tensão máxima

Verifica-se, pela figura 89, que o deslocamento máximo ocorre novamente na extremidade do apoio do pé, com um valor de 45,77 mm, e que a tensão máxima ocorre no tubo de alumínio, com um valor de 15,32 MPa. Nos restantes tubos, em PVC, o valor da tensão não ultrapassa os 9 MPa. Novamente, através de um estudo de convergência verifica-se que o valor da tensão máxima não se altera significativamente com o refinamento da malha (ver Figura 90).

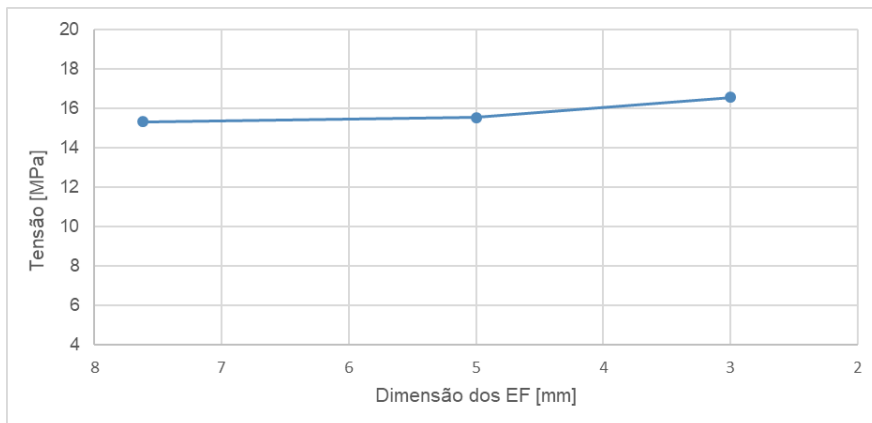


Figura 90 – Gráfico relativo à análise de convergência da solução

Sabendo, pela Tabela 15, que $S_y(\text{PVC}) = 41,4 \text{ MPa}$ e $S_y(\text{Al 6061-T6}) = 276 \text{ MPa}$ e substituindo na equação (6), tem-se:

$$\begin{cases} n_{PVC} = \frac{41,4}{9} = 4,6 \\ n_{Al} = \frac{276}{15,32} = 18,02 \end{cases} \quad (14)$$

Apesar de se verificar a segurança para ambos os materiais, é importante referir que este cenário é pouco plausível, dado que a cadeira irá virar antes de ser possível qualquer deformação do material.

5.1.6. Situações críticas

De entre todos os cenários analisados, o que apresenta um menor fator de segurança é o caso da estrutura submetida ao peso do conjunto e a uma força de empurrar. No caso da estrutura submetida ao peso do conjunto e uma força correspondente ao utilizador se encostar, o fator de segurança também não é muito elevado. No entanto ambos os casos verificam a segurança.

Um tópico importante, que não é abordado através destas análises numéricas, corresponde à viragem da cadeira. Também a inclinação máxima da cadeira constitui um cenário importante e que deve ser estudado.

➤ **Viragem na cadeira por aplicar força nas costas**

Uma das situações a analisar consiste no caso de o utilizador exercer uma força de valor demasiado elevado nas costas, provocando o virar da cadeira. Como tal, surge a necessidade de calcular esta força máxima que o utilizador pode exercer nas costas (ver Figura 91).

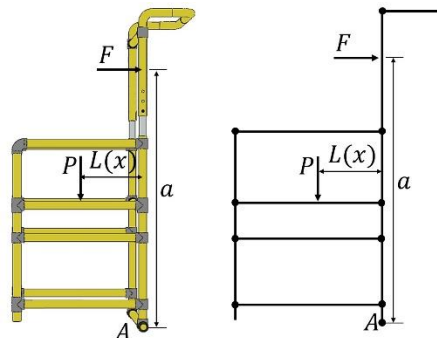


Figura 91 – Representação esquemática e d.c.l. da cadeira submetida a peso e força nas costas

Por forma a garantir a não viragem da cadeira, deverá verificar-se a seguinte equação:

$$\sum M_{A'} = 0 \Leftrightarrow P \times L(x) - F \times a = 0 \Leftrightarrow F = \frac{P \times L(x)}{a} \quad (15)$$

O valor de P corresponde ao peso total do utilizador, neste caso $P = 784,8 \text{ N}$, e pretende-se calcular esta força máxima F. O valor de $L(x)$ foi calculado na secção 5.1.2. *Cálculo do centro de massa*, tendo-se obtido $L(x) = 201,06 \text{ mm}$. A distância “a” assumiu-se como tendo o valor de 1090 mm, o que corresponde aproximadamente ao centro do colchão onde repousam as costas do indivíduo. Substituindo estes valores em (15), tem-se:

$$F = \frac{784,8 \times 201,06}{1090} = 145 \text{ N} \quad (16)$$

Este valor corresponde apenas a cerca de um quinto do peso total do utilizador, pelo que se deverá ter especial atenção a esta situação.

➤ **Viragem na cadeira por aplicar força na pega**

Neste segundo caso, ao invés de se aplicar uma força F nas costas, aplica-se uma força vertical F na pega (ver Figura 92).

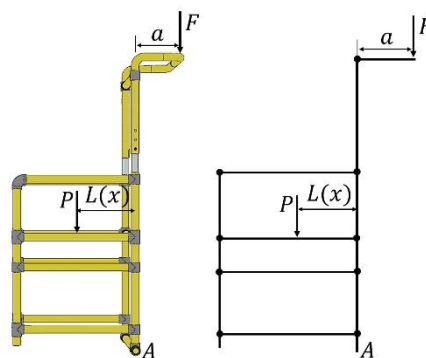


Figura 92 – Representação esquemática e d.c.l. da cadeira submetida a peso e força vertical na pega

Mais uma vez aplica-se o raciocínio da equação (15). Neste caso, os valores de P e $L(x)$ mantêm-se, alterando-se apenas a distância relativa à força F: $a = 200 \text{ mm}$. Substituindo em (15), tem-se:

$$F = \frac{784,8 \times 201,06}{200} = 789 \text{ N} \quad (17)$$

Este valor da força F indica que a cadeira consegue não virar, mesmo aplicando o peso de um indivíduo na pega.

➤ **Inclinação máxima**

Um cenário que deve também ser considerado corresponde a uma possível inclinação do pavimento no qual se pretende deslocar. Como tal, é necessário entender qual a inclinação máxima que poderá existir, por forma a não virar a cadeira (ver Figura 93).

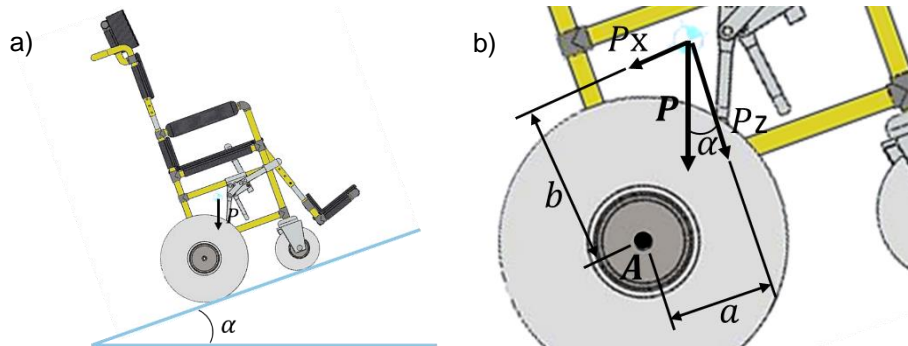


Figura 93 – a) Esquema de cadeira sob pavimento inclinado e b) detalhe e decomposição do peso

Analisando os momentos em A e sabendo que $P = 927,05 \text{ N}$, $a = 201,06 \text{ mm}$ e $b = 687,2 \text{ mm}$, obtém-se uma inclinação máxima de $\alpha = 16,3^\circ$, o que corresponde a uma inclinação relativamente elevada.

5.2. Cadeira pessoal

5.2.1. Materiais e respetivas propriedades

No caso da cadeira pessoal, o principal material considerado para os tubos da estrutura é o alumínio (Al6061-T6) [42]. Contudo, tal como referido previamente, há a possibilidade de utilizar outros materiais: titânio (Ti-6Al-4V) [42] e fibra de carbono (Toray T700) [44]. Este tipo de fibra de carbono é utilizado no chassis de certas bicicletas, especialmente bicicletas todo-o-terreno [45].

Tabela 17 – Propriedades mecânicas dos materiais da cadeira pessoal [42],[44]

Material	Massa específica ρ [kg/m ³]	Tensão de cedência S_y [MPa]	Tensão de rutura S_u [MPa]	Módulo de elasticidade E [GPa]
Al 6061-T6	2700	276	310	68,9
Ti-6Al-4V	4430	880	950	113,8
Toray T700S	1800	4900	4900	230

5.2.2. Cálculo do centro de massa

Tal como no caso da cadeira pública, também para a cadeira pessoal é necessário calcular o centro de massa do conjunto cadeira + pessoa, começando por calcular-se individualmente o centro de massa de cada um.

➤ **Cálculo do centro de massa da pessoa**

Considerando os mesmos valores de altura e massa da pessoa e a mesma posição em que esta se encontra, o centro de massa da pessoa corresponde ao mesmo estimado no caso da cadeira pública. Mais uma vez, é apenas essencial o cálculo de $L_H(x)$, obtendo-se $L_H(x) = 206,14 \text{ mm}$. No entanto, no

caso da cadeira pessoal surge uma segunda situação, na qual a posição da pessoa não é a mesma. Para futuros cálculos é importante obter também o centro de massa da pessoa quando esta se encontra sentada, mas com as costas inclinadas. Dado que não foi possível obter uma expressão para o cálculo deste valor, utilizou-se um modelo 3D de uma pessoa para estimar este valor [46]. Através do SW mede-se o valor de $L_H(x)$ para ambas as posições (ver Figura 94): $L_H(x)$ direitas = 275,01 mm com as costas direitas e $L_H(x)$ inclinadas = 78,3 mm com as costas inclinadas.

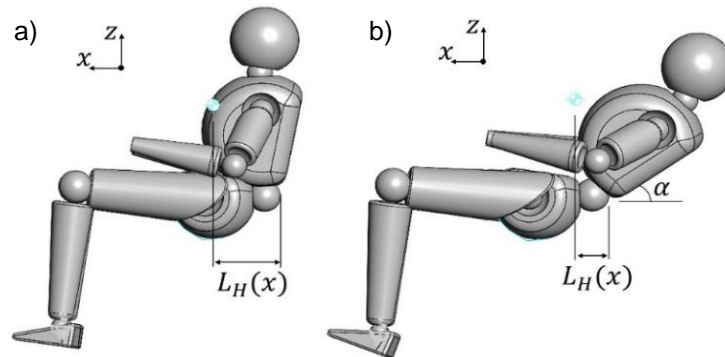


Figura 94 – Centro de massa de uma pessoa sentada com costas a) direitas e b) inclinadas

A inclinação das costas é obtida com a ferramenta “measure” do SW, correspondendo a $\alpha = 30^\circ$. O ângulo entre as costas direitas e as costas inclinadas é dado por:

$$\theta = 90 - \alpha = 50^\circ \quad (18)$$

Apesar de obtido este novo valor de $L_H(x)$, dado que o modelo 3D utilizado não corresponde exatamente ao de uma pessoa com 80 kg de peso e 1,80 m de altura, este valor em si não é apropriado. Contudo, é possível calcular a diminuição relativa do valor de $L_H(x)$ entre as duas posições:

$$\Delta L_H(x) = \frac{L_H(x) \text{ direitas} - L_H(x) \text{ inclinadas}}{L_H(x) \text{ direitas}} = 0,626 = 62,6\% \quad (19)$$

Dado que o maior ângulo que a cadeira pessoal permite inclinar é $\theta = 50^\circ$, aplica-se esta diminuição relativa de $L_H(x)$ ao valor obtido para uma pessoa com 80 kg e 1,80 m sentada com costas direitas:

$$L_H(x) \text{ inclinadas} = L_H(x) \text{ direitas} - 0,626 \times L_H(x) \text{ direitas} = 77,10 \text{ mm} \quad (20)$$

➤ Cálculo do centro de massa da cadeira

Para obter o centro de massa da cadeira recorreu-se novamente ao SW (ver Figura 95 a)). O ponto de referência para obter o valor de $L_C(x)$ é também o mesmo que o utilizado no caso da cadeira pública. As rodas apresentam novamente uma massa superior à real, dado que o material utilizado é o mesmo que no caso anterior. Utilizando então a ferramenta “measure” do SW, obtém-se $L_C(x) = 136,20$ mm. Apesar da cadeira poder colocar-se na posição deitado, este valor corresponde ao centro de massa da cadeira na posição sentado. Para o caso em que a cadeira se encontra com as costas inclinadas, é também possível obter o centro de massa, através do SW (ver Figura 95 b)). Ao inclinar as costas e atualizar o modelo, o centro de massa atualiza também. Após esta alteração, mediu-se de novo a distância entre o novo centro de massa e o fim do assento, tendo-se obtido $L_C(x) = 124,64$ mm.

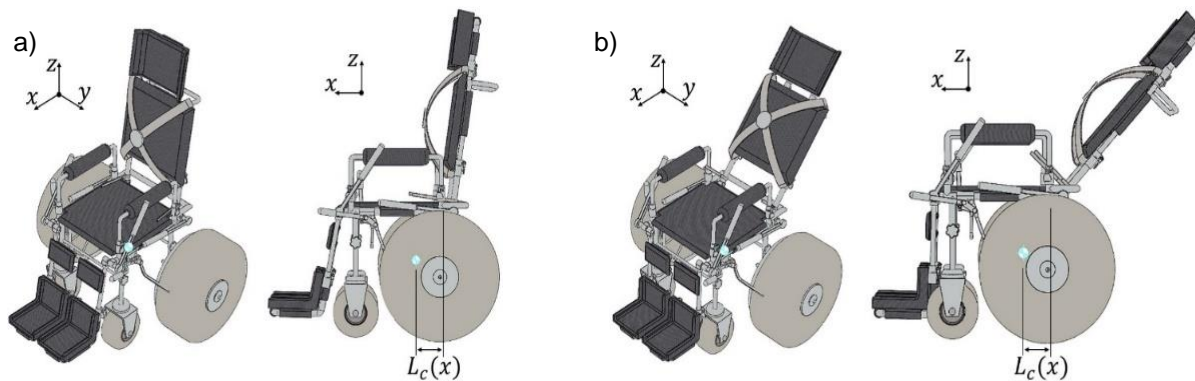


Figura 95 – Centro de massa da cadeira pessoal: a) costas direitas; b) costas inclinadas

➤ Cálculo do centro de massa do conjunto cadeira e pessoa

Para calcular o centro de massa do conjunto cadeira + pessoa, procede-se ao mesmo raciocínio utilizado para a cadeira pública, utilizando a equação (2). Mais uma vez, surge o problema da massa total da cadeira, dado que a massa das rodas estimada pelo SW não corresponde à real. Contudo, visto que neste caso as rodas traseiras possuem um diâmetro superior às rodas de maior diâmetro existentes no website da WheelEEZ® [31], o seu peso não está indicado. Por forma a obter uma massa total da cadeira, foi estimado o peso destas rodas com base no seu diâmetro e comparando com as rodas da cadeira pública. Se as rodas da cadeira pública possuem 490 mm de diâmetro e uma massa de 2,8 kg, então a massa das rodas da cadeira pessoal, cujo diâmetro é 610 mm, é dada por:

$$m_{roda\ pessoal} = \frac{m_{roda\ pública} \times d_{roda\ pessoal}}{d_{roda\ pública}} = \frac{2,8 \times 610}{490} = 3,5\ kg \quad (21)$$

Substituindo $m_{rodízio} = 0,7\ kg$ e $m_{estrutura} = 9,5\ kg$, obtém-se:

$$m_{cadeira} = m_{estrutura} + 2 \times m_{roda} + 2 \times m_{rodízio} = 9,5 + 2 \times 3,5 + 2 \times 0,7 = 17,9\ kg \quad (22)$$

Sabe-se também que $m_{pessoa} = 80\ kg$, $L_H(x) = 206,14\ mm$ e $L_C(x) = 136,20\ mm$. Através da equação (2), tem-se, para o caso das costas direitas:

$$L(x) = \frac{136,20 \times 17,9 + 206,14 \times 80}{17,9 + 80} = 193,35\ mm \quad (23)$$

No caso de as costas estarem inclinadas, as massas mantêm-se e sabe-se que $L_H(x) = 77,10\ mm$ e $L_C(x) = 124,64\ mm$. Calcula-se então:

$$L(x) = \frac{124,64 \times 17,9 + 77,10 \times 80}{17,9 + 80} = 85,54\ mm \quad (24)$$

5.2.3. Malha de elementos finitos

Tal como no caso da cadeira pública, criou-se uma malha de método de Elementos Finitos, utilizando o programa Siemens NX, por forma a proceder a uma análise numérica. Mais uma vez, optou-se por elementos finitos tetraédricos com 4 nós (CTETRA4). Ao contrário do caso anterior, na cadeira pessoal a divisão não é apenas entre estrutura e apoio de perna, tendo sido analisados individualmente os seguintes componentes: assento; costas; apoio de perna. Relativamente à malha inicial, no caso do assento a dimensão dos EF da malha inicial é 10 mm e a malha possui 130439 elementos (ver Figura 96 a)). As costas, por sua vez, possuem uma malha inicial com 119845 elementos cuja dimensão é

7,93 mm (ver Figura 96 b)). Por fim, o apoio de pernas apresenta uma malha inicial com 87707 elementos com dimensão 6,5 mm (ver Figura 96 c)).

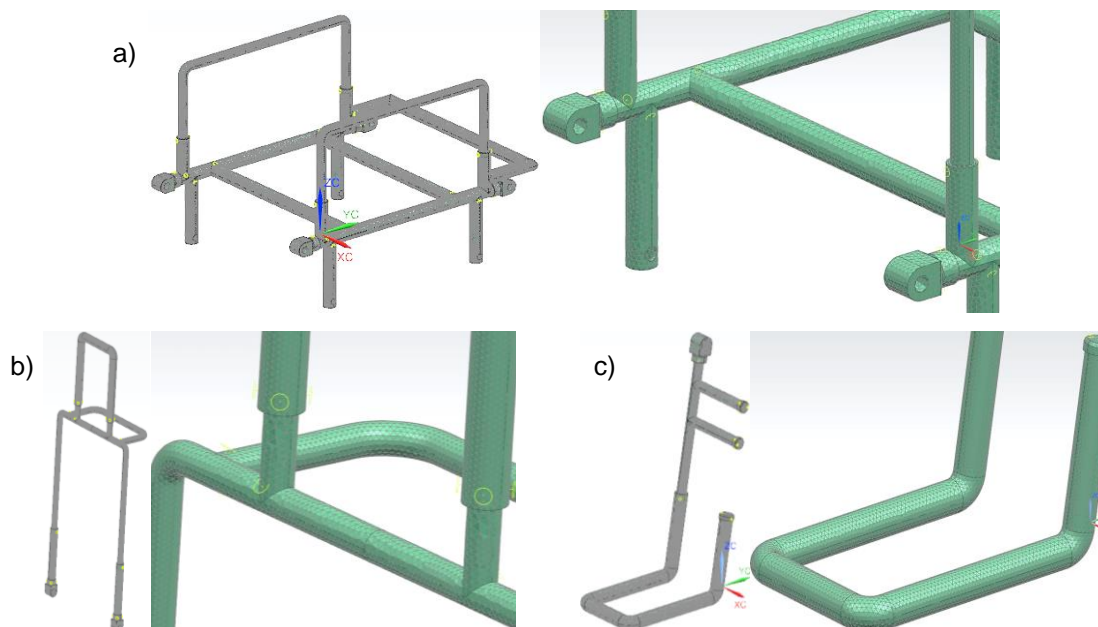


Figura 96 – Malha de EF: a) assento; b) costas; c) apoio de perna

5.2.4. Cenários de carga do assento

O primeiro componente a ser analisado é o assento. Tal como nos casos da cadeira pública, são abordados diversos cenários de carga, analisando o deslocamento e tensão máximos. Ao identificar a tensão máxima, esta é comparada com a tensão de cedência do material através da equação (6). Neste caso, vão ser analisados três materiais (ver secção 5.2.1. *Materiais e respetivas propriedades*)

➤ Assento submetido apenas a peso do conjunto

Este cenário de carga é semelhante ao primeiro cenário abordado para a estrutura principal da cadeira pública. Os apoios traseiros apresentam constrangimento de translação e os frontais apenas apresentam constrangimento vertical (ver Figura 97). Relativamente às forças aplicadas, apenas existe a força P , correspondendo a um quarto do peso do conjunto, pois este encontra-se igualmente distribuído pelos quatro tubos que formam o assento. Mais uma vez apenas se considera o peso da estrutura da cadeira, excluindo as rodas e os rodízios. Assim, tem-se $P = 220$ N.

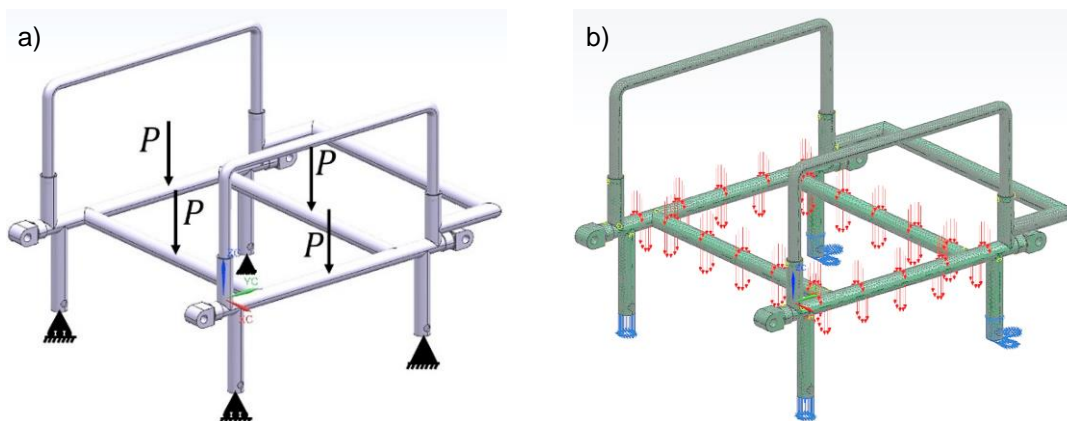


Figura 97 – Assento submetido a peso do conjunto: a) esquema; b) NX

Após a simulação, obteve-se a seguinte solução (ver Figura 98):

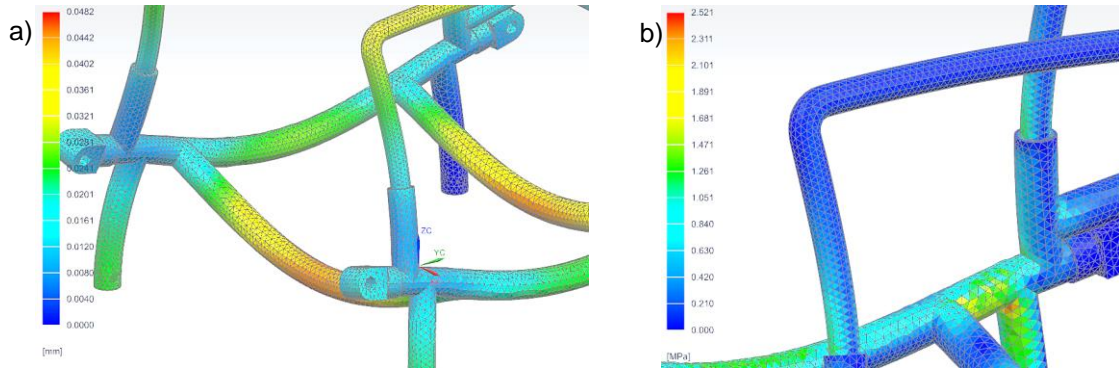


Figura 98 – Resultado da análise NX: a) deslocamento; b) tensão máxima

Verifica-se que o maior deslocamento ocorre nos tubos do assento, sendo o seu valor 0,0482 mm, o que pode ser considerado como desprezável, dadas as dimensões da cadeira. A tensão máxima ocorre nos tubos das pernas da cadeira, tendo um valor de $\sigma_{VM} = 2,521$ MPa. Tal como para os diversos cenários da cadeira pública, também neste caso se procedeu a um estudo da convergência da solução relativamente à tensão. Procedeu-se ao refinamento da malha e obteve-se uma nova solução. Este processo foi repetido, obtendo-se um total de três malhas e três respetivas soluções (ver Figura 99).

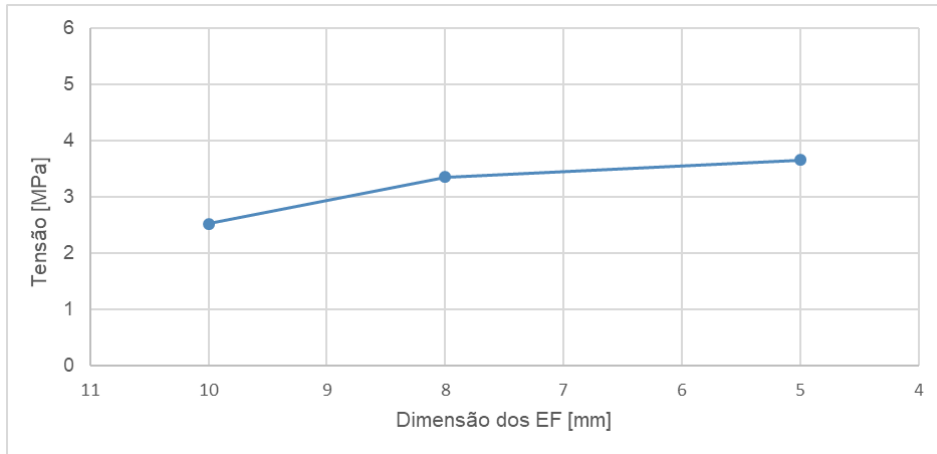


Figura 99 – Gráfico relativo à análise de convergência da solução

Analisando o gráfico da Figura 99, verifica-se que a variação da tensão máxima não é significativa, pelo que se conclui que a malha inicial apresenta uma boa e correta solução. Sabendo, pela Tabela 17, que S_y (Al 6061-T6) = 276 MPa, S_y (Ti-6Al-4V) = 880 MPa e S_y (Toray T700S) = 4900 MPa e substituindo na equação (6), tem-se:

$$\begin{cases} n_{Al} = \frac{276}{2,521} = 109,48 \\ n_{Ti} = \frac{880}{2,521} = 349,07 \\ n_{T700} = \frac{4900}{2,521} = 1943,67 \end{cases} \quad (25)$$

Dado os elevados valores de n , verifica-se claramente a segurança da estrutura do assento neste cenário de carga.

➤ **Assento submetido a peso do conjunto e força de costas**

Neste segundo cenário, em adição à força P , existe também uma força vertical F aplicada no tubo de segurança. Esta força corresponde à força exercida pela estrutura das costas quando estas se encontram totalmente inclinadas. O valor da força F é metade do peso do utilizador, ou seja, $F = 392,4$ N. Os constrangimentos não se alteram (ver Figura 100).

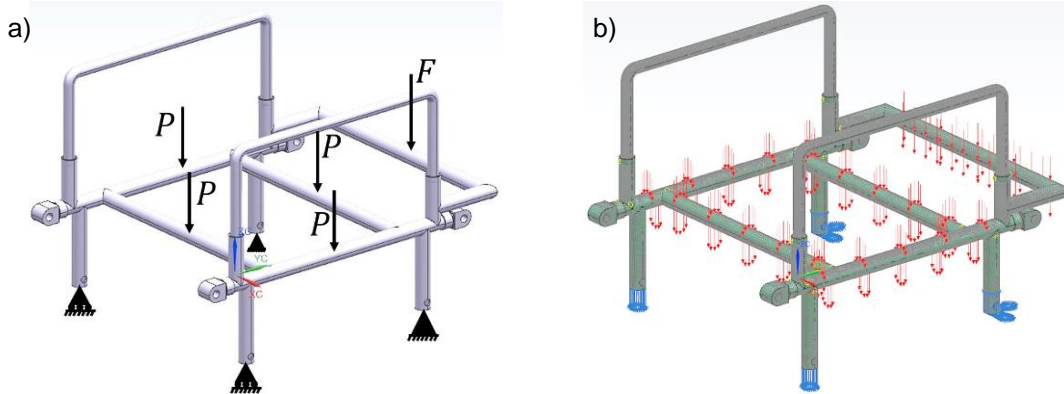


Figura 100 – Assento submetido a peso do conjunto e força de costas: a) esquema; b) NX

Após a simulação, obteve-se a seguinte solução (ver Figura 101):

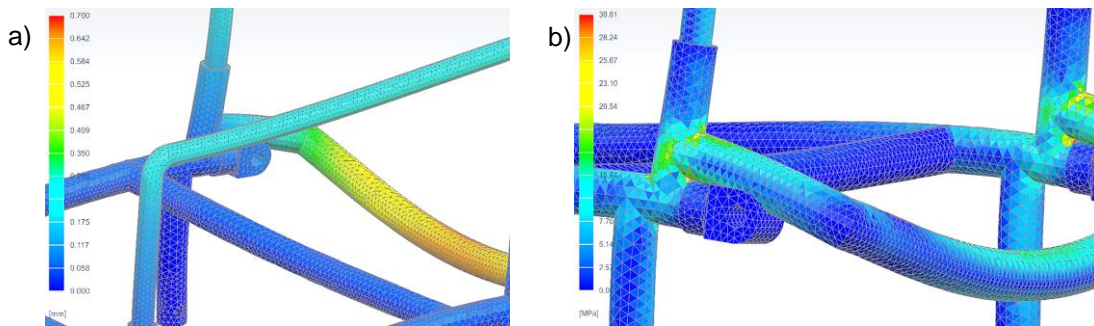


Figura 101 – Resultado da análise NX: a) deslocamento; b) tensão máxima

Verifica-se que o maior deslocamento ocorre no tubo de proteção, sendo o seu valor 0,700 mm, o que pode ser considerado como desprezável, dadas as dimensões da cadeira. A tensão máxima ocorre nos tubos das pernas da cadeira, tendo um valor de $\sigma_{VM} = 30,81$ MPa. Após um estudo da convergência da solução relativamente à tensão, concluiu-se que os valores, apesar de sofrerem alguma alteração, esta não é considerada significativa dada a gama de valores obtida (ver Figura 102).

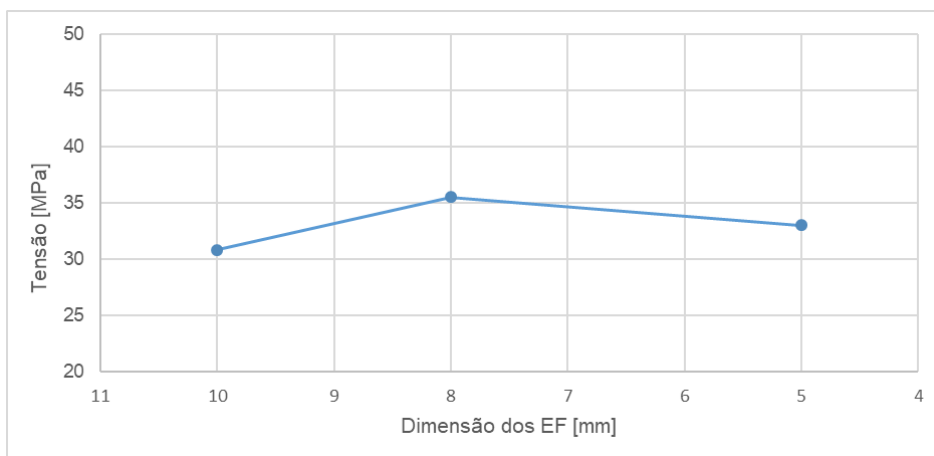


Figura 102 – Gráfico relativo à análise de convergência da solução

Sabendo, pela Tabela 17, que S_y (Al 6061-T6) = 276 MPa, S_y (Ti-6Al-4V) = 880 MPa e S_y (Toray T700S) = 4900 MPa e substituindo na equação (6), tem-se:

$$\begin{cases} n_{Al} = \frac{276}{30,81} = 8,96 \\ n_{Ti} = \frac{880}{30,81} = 28,56 \\ n_{T700} = \frac{4900}{30,81} = 150,04 \end{cases} \quad (26)$$

Analisando os valores de n , verifica-se claramente a segurança da estrutura do assento neste cenário de carga.

➤ Assento submetido a peso da pessoa nos braços

Este cenário é semelhante a um cenário abordado na análise à estrutura da cadeira pública, onde se considera que o utilizador decidiu levantar-se apoiando todo o seu peso nos apoios de braços. Assim, tem-se que a força P apenas corresponde a um quarto do peso da cadeira ($P = 23,3$ N), dado que este peso se considera igualmente distribuído pelos quatro tubos que formam o assento, e a força F corresponde a metade do peso do utilizador ($F = 392,4$ N), dado que o seu peso se consideram igualmente distribuído entre os dois apoios de braços. Os constrangimentos não se alteram (ver Figura 103).

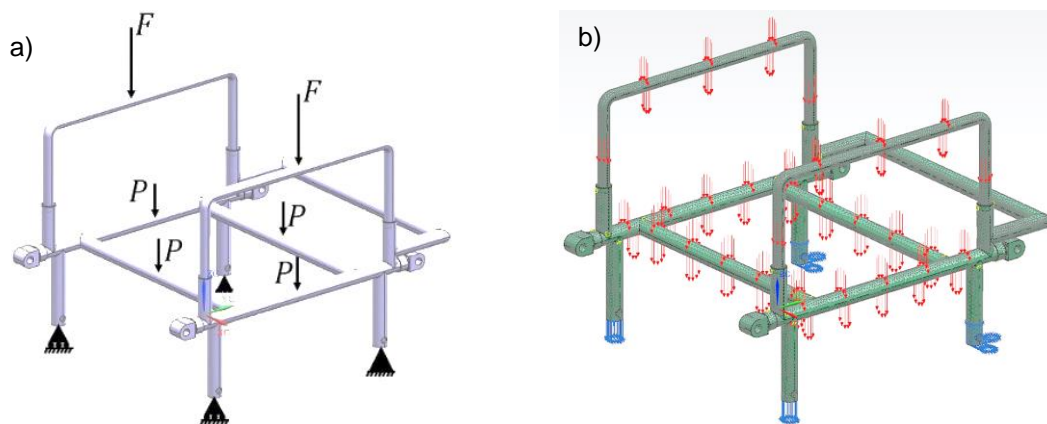


Figura 103 – Assento submetido a peso da pessoa nos braços: a) esquema; b) NX

Após a simulação, obteve-se a seguinte solução (ver Figura 104):

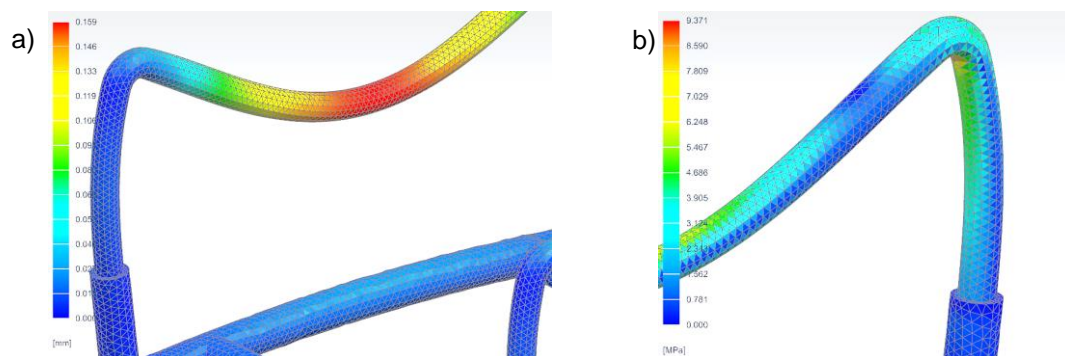


Figura 104 – Resultado da análise NX: a) deslocamento; b) tensão máxima

Verifica-se que o maior deslocamento ocorre no tubo do apoio de braço, sendo o seu valor 0,159 mm, o que pode ser considerado como desprezável, dadas as dimensões da cadeira. A tensão máxima ocorre no canto deste mesmo tubo, tendo um valor de $\sigma_{VM} = 9,371$ MPa. Após um estudo da

convergência da solução relativamente à tensão, concluiu-se que os valores não sofrem alteração significativa (ver Figura 105).

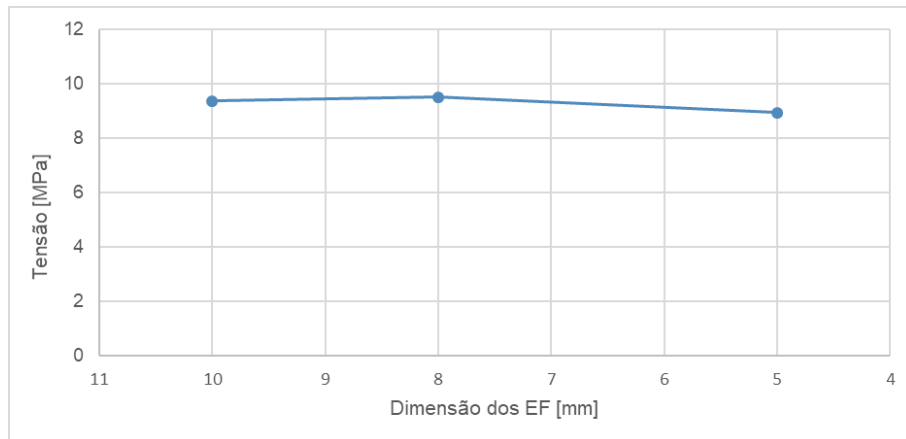


Figura 105 – Gráfico relativo à análise de convergência da solução

Sabendo, pela Tabela 17, que S_y (Al 6061-T6) = 276 MPa, S_y (Ti-6Al-4V) = 880 MPa e S_y (Toray T700S) = 4900 MPa e substituindo na equação (6), tem-se:

$$\begin{cases} n_{Al} = \frac{276}{9,371} = 29,45 \\ n_{Ti} = \frac{880}{9,371} = 93,91 \\ n_{T700} = \frac{4900}{9,371} = 522,89 \end{cases} \quad (27)$$

Mais uma vez, a segurança é verificada para todos os materiais.

5.2.5. Cenários de carga das costas

Relativamente à estrutura das costas, são analisados dois cenários de carga diferentes.

➤ Costas submetidas a peso das costas da pessoa

Este cenário corresponde ao caso em que o utilizador exerce sobre as costas metade do seu peso ao se encostar, ou seja, a força P tem um valor correspondente a metade desse peso, ou seja, $P = 196,2$ N. Relativamente aos constrangimentos, considera-se que as peças que permitem a ligação das costas ao resto da estrutura não se podem movimentar, aplicando nestas um constrangimento de translação (ver Figura 106).

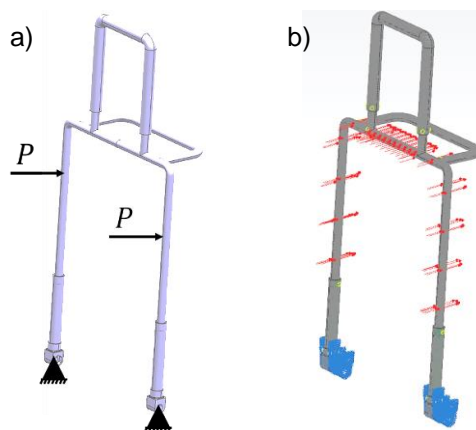


Figura 106 – Costas submetidas a força de encostar: a) esquema; b) NX

Após a simulação, obteve-se a seguinte solução (ver Figura 107):

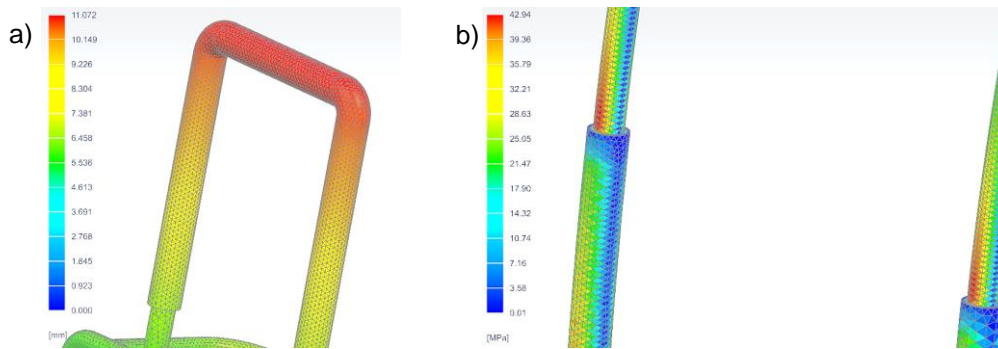


Figura 107 – Resultado da análise NX: a) deslocamento; b) tensão máxima

Verifica-se que o maior deslocamento ocorre no apoio de cabeça, sendo o seu valor 11,072 mm. Este valor é superior aos casos anteriores, no então, tal como em certos cenários abordados na cadeira pública, este deslocamento não corresponde a deformação do material. A tensão máxima ocorre nos tubos de menor diâmetro, onde se localiza o mecanismo de ajuste de tamanho, tendo um valor de $\sigma_{VM} = 42,94$ MPa. Após um estudo da convergência da solução, concluiu-se que os valores de tensão máxima não sofrem alteração significativa, nomeadamente a partir do primeiro refinamento da malha (ver Figura 108).

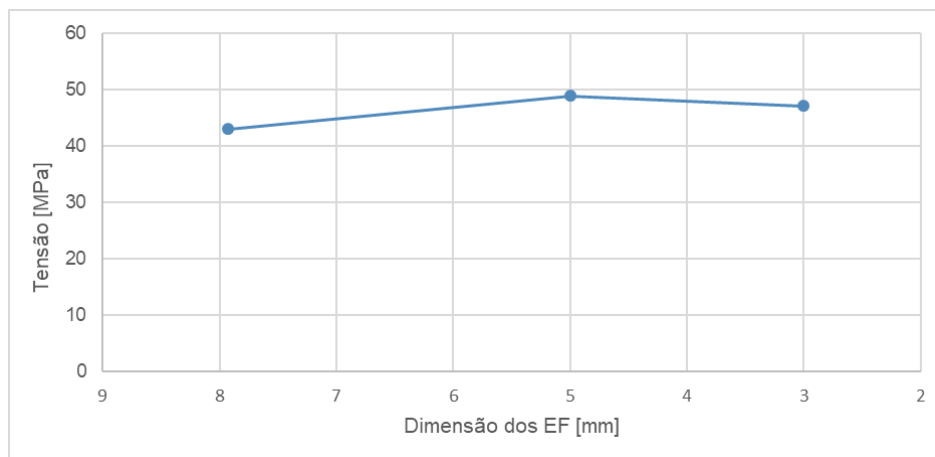


Figura 108 – Gráfico relativo à análise de convergência da solução

Sabendo, pela Tabela 17, que S_y (Al 6061-T6) = 276 MPa, S_y (Ti-6Al-4V) = 880 MPa e S_y (Toray T700S) = 4900 MPa e substituindo na equação (6), tem-se:

$$\begin{cases} n_{Al} = \frac{276}{42,94} = 6,43 \\ n_{Ti} = \frac{880}{42,94} = 20,49 \\ n_{T700} = \frac{4900}{42,94} = 114,11 \end{cases} \quad (28)$$

Mais uma vez, a segurança é verificada para todos os materiais.

➤ **Costas da cadeira submetidas a peso das costas da pessoa e força na pega**

Neste segundo cenário, além da força P, está também aplicada uma força vertical F na pega. Esta força F assumiu-se como tendo um valor correspondo a exercer cerca de 30 kg, ou seja, $F = 294,3$ N. Os constrangimentos não se alteram relativamente ao cenário anterior (ver Figura 109).

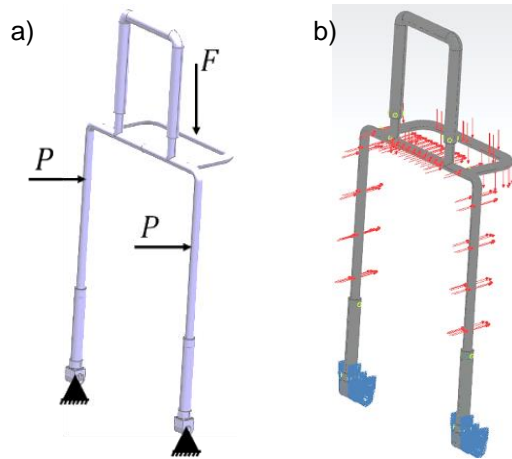


Figura 109 – Costas submetidas de encostar e força vertical na pega: a) esquema; b) NX

Após a simulação, obteve-se a seguinte solução (ver Figura 110):

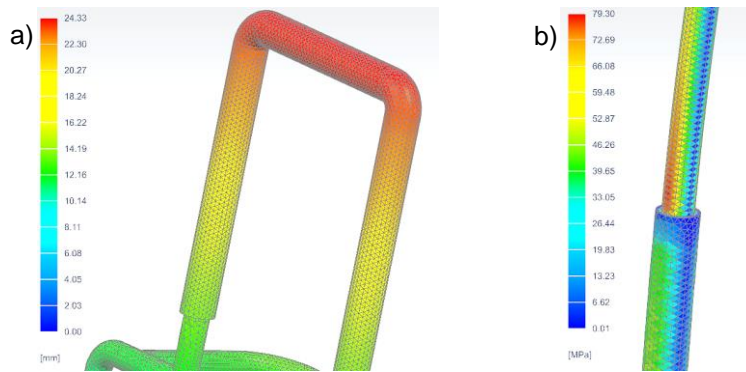


Figura 110 – Resultado da análise NX: a) deslocamento; b) tensão máxima

Verifica-se que tanto o maior deslocamento como a tensão máxima ocorrem nos mesmos locais que no caso anterior, sendo os seus valores 24,33 mm e 78,30 MPa, respetivamente. Após um estudo da convergência da solução, concluiu-se que o valor converge a partir do primeiro refinamento, não sofrendo alteração significativa na malha seguinte (ver Figura 111).

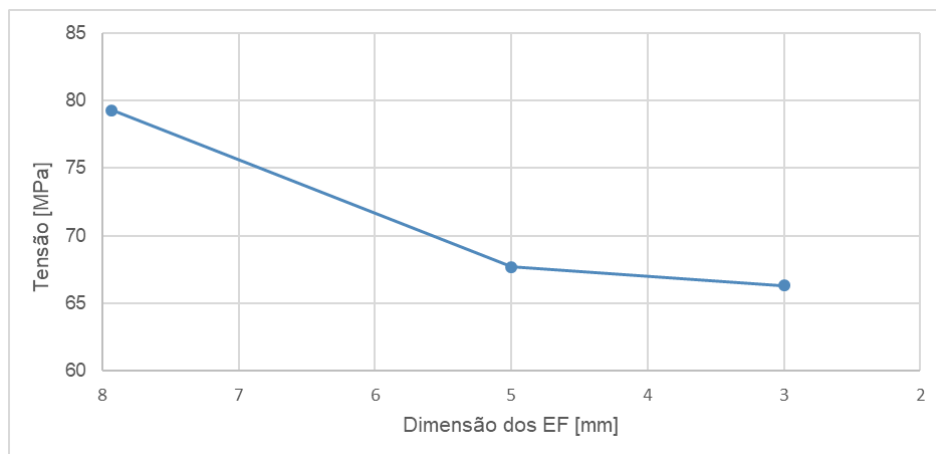


Figura 111 – Gráfico relativo à análise de convergência da solução

Para a malha com dimensão 5 mm, tem-se $\sigma_{VM} = 67,68$ MPa. Sabendo, pela Tabela 17, que S_y (Al 6061-T6) = 276 MPa, S_y (Ti-6Al-4V) = 880 MPa e S_y (Toray T700S) = 4900 MPa e substituindo na equação (6), tem-se:

$$\begin{cases} n_{Al} = \frac{276}{67,68} = 4,08 \\ n_{Ti} = \frac{880}{67,68} = 13,00 \\ n_{T700} = \frac{4900}{67,68} = 72,40 \end{cases} \quad (29)$$

Mais uma vez, a segurança é verificada para todos os materiais.

5.2.6. Cenários de carga do apoio de pernas

Por fim, considera-se três diferentes cenários de carga para o apoio de pernas.

➤ Apoio de pernas submetido apenas a peso da perna da pessoa

Neste caso, o apoio apresenta a mesma inclinação em relação à restante estrutura que no caso da cadeira pública ($\alpha = 8^\circ$) (ver Figura 84). Assim, obtém-se novamente $P_1 = 44$ N. Contudo o valor de P_2 é metade, pois neste caso existem dois tubos sobre os quais é aplicada esta componente do peso, ou seja, $P_2 = 14$ N. Os constrangimentos são também os mesmos que os aplicados no cenário respectivo da cadeira pública (ver Figura 112).

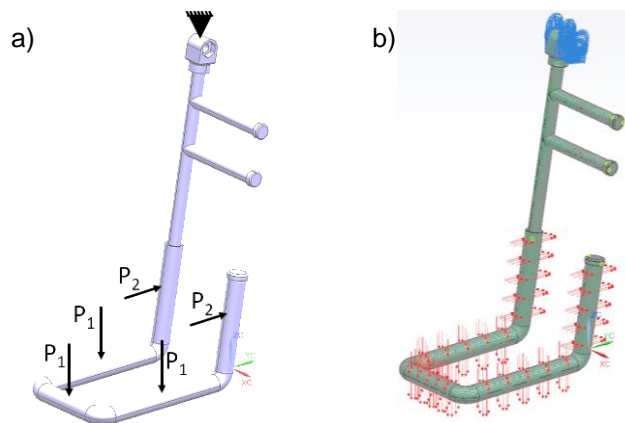


Figura 112 – Apoio de perna submetido a peso da perna da pessoa: a) esquema; b) NX

Após a simulação, obteve-se a seguinte solução (ver Figura 113):

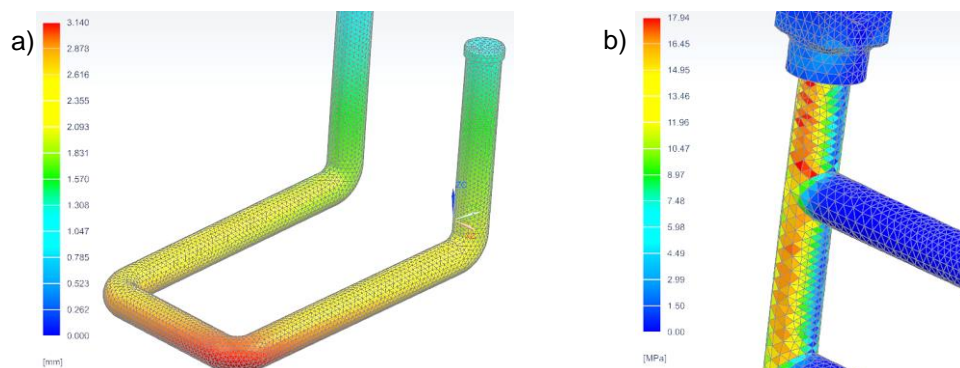


Figura 113 – Resultado da análise NX: a) deslocamento; b) tensão máxima

Verifica-se que o maior deslocamento ocorre no canto do tubo do apoio do pé e a tensão máxima ocorre no tubo de menor diâmetro, junto da peça que permite a ligação com o resto da estrutura. Os valores obtidos são 3,140 mm e 17,94 MPa, respetivamente. Após um estudo da convergência da solução, concluiu-se que o valor da tensão máxima não sofre alteração significativa ao longo dos refinamentos da malha (ver Figura 114).

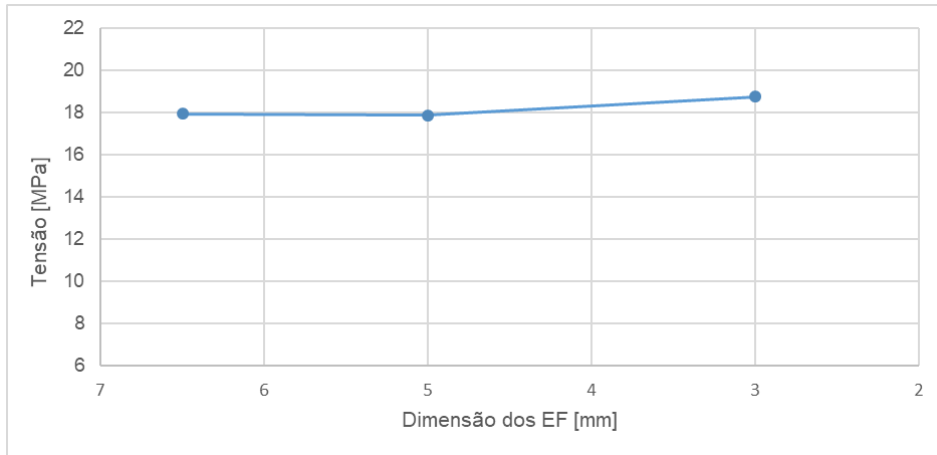


Figura 114 – Gráfico relativo à análise de convergência da solução

Sabendo, pela Tabela 17, que S_y (Al 6061-T6) = 276 MPa, S_y (Ti-6Al-4V) = 880 MPa e S_y (Toray T700S) = 4900 MPa e substituindo na equação (6), tem-se:

$$\begin{cases} n_{Al} = \frac{276}{17,94} = 15,38 \\ n_{Ti} = \frac{880}{17,94} = 49,05 \\ n_{T700} = \frac{4900}{17,94} = 273,13 \end{cases} \quad (30)$$

Mais uma vez, a segurança é verificada para todos os materiais.

➤ **Apoio de pernas na horizontal submetido apenas a peso da perna da pessoa**

Neste cenário considera-se também o caso de o apoio estar apenas submetido ao peso da perna do utilizador. No entanto, dado que os apoios de pernas podem ser elevados, nesta análise considera-se que o apoio se encontra aproximadamente na horizontal. Tal significa que o peso da perna se encontra distribuído entre o apoio de calcanhar e o apoio da perna. Considera-se que pouco mais de dois terços deste peso se encontram aplicados no calcanhar e o restante no local onde é apoiada a perna. Assim, tem-se: $P_1 = 50$ N e $P_2 = 20$ N. Os constrangimentos são também os mesmos que os aplicados no cenário anterior (ver Figura 115).

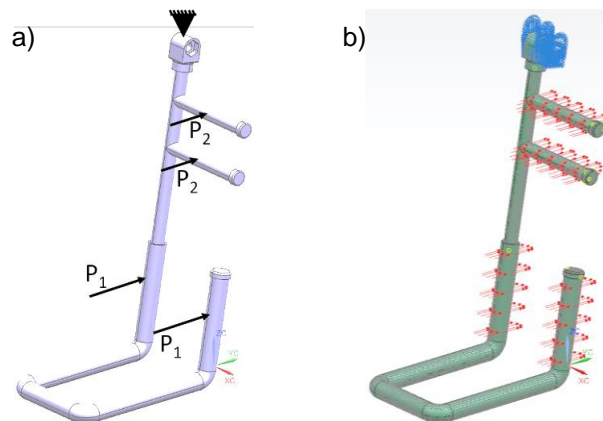


Figura 115 – Apoio de perna na horizontal submetido a peso da perna da pessoa: a) esquema; b) NX

Após a simulação, obteve-se a seguinte solução (ver Figura 116):

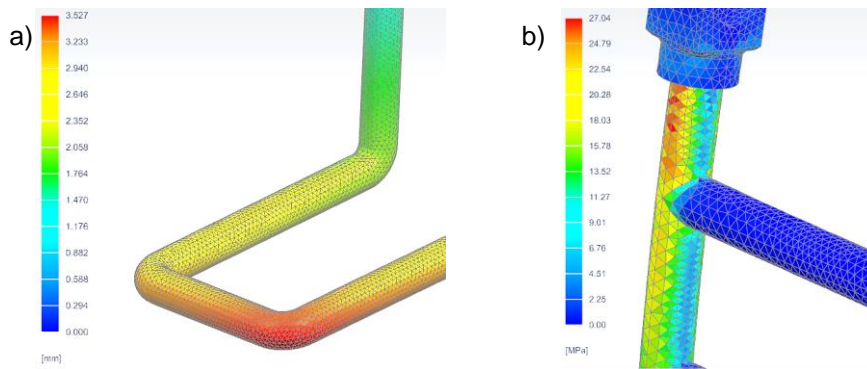


Figura 116 – Resultado da análise NX: a) deslocamento; b) tensão máxima

Verifica-se que o maior deslocamento ocorre novamente no canto do tubo do apoio do pé e a tensão máxima ocorre no tubo de menor diâmetro, tal como no cenário de carga anterior. Os valores obtidos são 3,527 mm e 27,04 MPa, respetivamente. Após um estudo da convergência da solução, concluiu-se que o valor da tensão máxima não sofre alteração significativa ao longo dos refinamentos da malha (ver Figura 117).

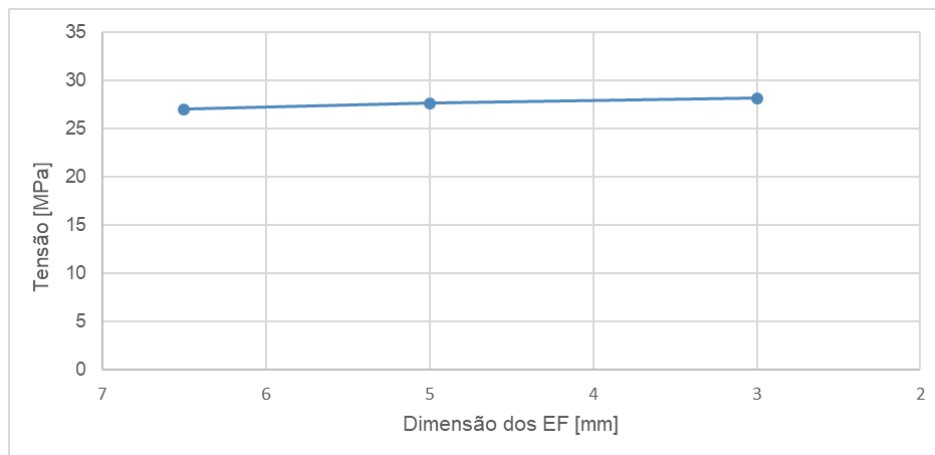


Figura 117 – Gráfico relativo à análise de convergência da solução

Sabendo, pela Tabela 17, que S_y (Al 6061-T6) = 276 MPa, S_y (Ti-6Al-4V) = 880 MPa e S_y (Toray T700S) = 4900 MPa e substituindo na equação (6), tem-se:

$$\begin{cases} n_{Al} = \frac{276}{27,04} = 10,21 > 1,2 \\ n_{Ti} = \frac{880}{27,04} = 32,54 > 1,2 \\ n_{T700} = \frac{4900}{27,04} = 181,21 > 1,2 \end{cases} \quad (31)$$

A segurança é, mais uma vez, verificada para todos os materiais.

➤ Apoio de pernas submetido ao peso total da pessoa

Tal como analisado para a cadeira pública, é importante abordar o cenário em que o utilizador se levanta nos apoios de pernas, exercendo o seu peso total nestes. Tal como no caso da cadeira pública, tem-se então $P = 131$ N. Os constrangimentos são também os mesmos que os aplicados nos cenários anteriores (ver Figura 118). Mais uma vez, é importante referir que, neste caso, a cadeira viraria antes de se dar qualquer deformação ou cedência do material.

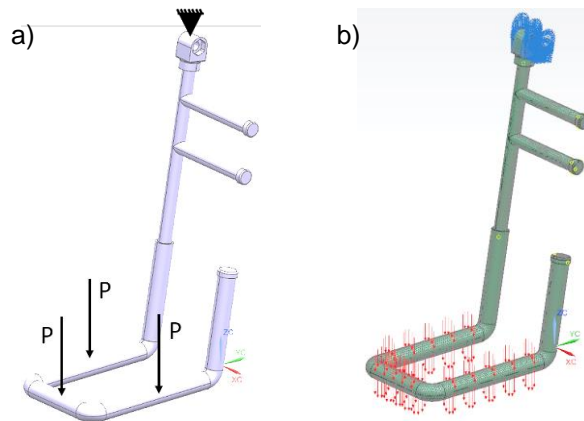


Figura 118 – Apoio de perna submetido a peso total perna da pessoa: a) esquema; b) NX

Após a simulação, obteve-se a seguinte solução (ver Figura 119):

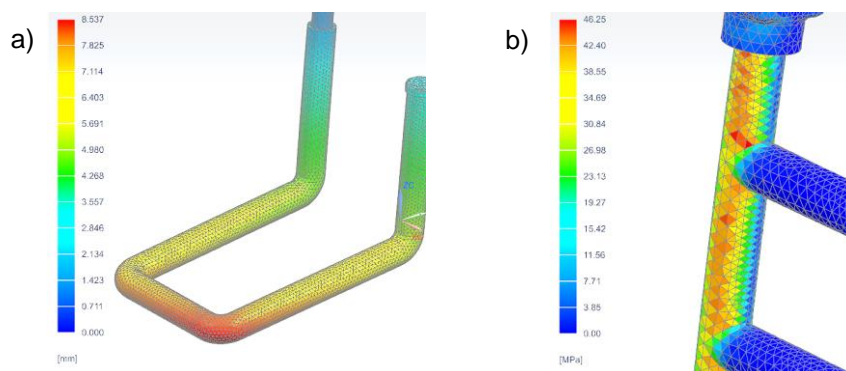


Figura 119 – Resultado da análise NX: a) deslocamento; b) tensão máxima

Verifica-se que o maior deslocamento ocorre novamente no canto do tubo do apoio do pé e a tensão máxima ocorre no tubo de menor diâmetro, tal como nos cenários de carga anteriores. Os valores obtidos são 8,537 mm e 46,25 MPa, respetivamente. Após um estudo da convergência da solução, concluiu-se que o valor da tensão máxima não sofre alteração significativa ao longo dos refinamentos da malha (ver Figura 120).

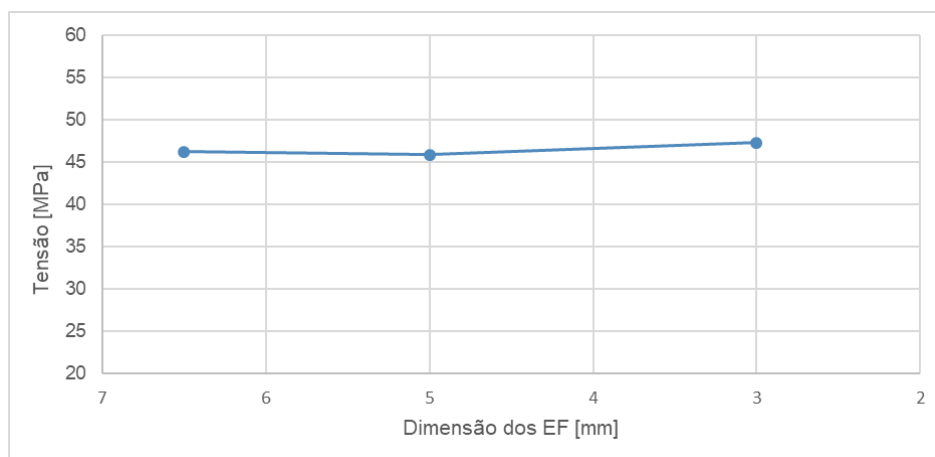


Figura 120 – Gráfico relativo à análise de convergência da solução

Sabendo, pela Tabela 17, que S_y (Al 6061-T6) = 276 MPa, S_y (Ti-6Al-4V) = 880 MPa e S_y (Toray T700S) = 4900 MPa e substituindo na equação (6), tem-se:

$$\begin{cases} n_{Al} = \frac{276}{46,25} = 5,97 \\ n_{Ti} = \frac{880}{46,25} = 19,03 \\ n_{T700} = \frac{4900}{46,25} = 105,95 \end{cases} \quad (32)$$

Mais uma vez, dados os elevados valores de n, conclui-se que a segurança é verificada para todos os materiais.

5.2.7. Análise de ligações

Contrariamente ao que acontece na cadeira pública, na cadeira pessoal os três componentes principais (assento, costas e apoio de pernas) não se encontram ligados fixamente. De facto, uma das principais características da cadeira consiste exatamente em permitir inclinar as costas e os apoios de pernas. Surge então a necessidade de analisar também a resistência deste mecanismo de ligação (ver secção 4.2.4. *Mecanismos principais*).

➤ Ligação entre apoio de perna e assento

Para esta ligação são estudados três casos distintos, analisando as tensões que estes cenários de carga provocam no parafuso (assumido como pino para estes cálculos).

Caso A: apoio submetido a peso da perna do utilizador

Este cenário corresponde ao primeiro cenário de carga analisado para o apoio de perna na secção 5.2.7. *Cenários de carga do apoio de pernas*, tendo-se $P = 137,34 \text{ N}$ e $a = 112,4 \text{ mm}$ (ver Figura 121).

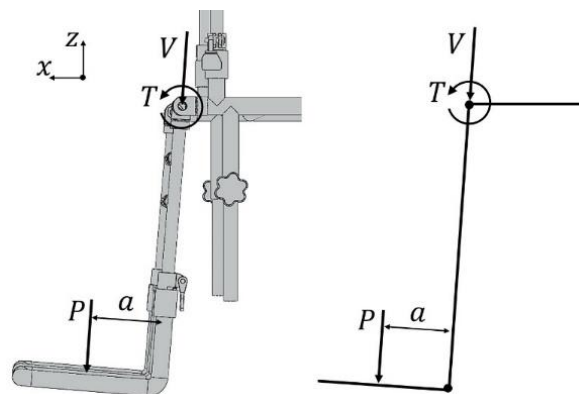


Figura 121 – Representação esquemática e d.c.i. do caso A da ligação entre apoio de pernas e assento

Verifica-se que a força P cria um momento torsor (T) e um esforço transversal (V) no pino (ver Figura 121). Estes esforços são dados por:

$$\begin{cases} V = P = 137,34 \text{ N} \\ T = P \times a = 15,44 \text{ Nm} \end{cases} \quad (33)$$

Apesar de se poder decompor a força P em duas componentes (P_x e P_z), dado que não existe mais nenhuma força a ser atuada não é necessária esta decomposição. Após obter estes valores, é possível calcular as tensões respetivas:

$$\begin{cases} \tau_V = \frac{4 \times V}{3 \times A} = \frac{4 \times V}{3 \times \pi \times \frac{d^2}{4}} = \frac{16 \times V}{3 \times \pi \times d^2} \\ \tau_T = \frac{T \times c}{J} = \frac{T \times \frac{d}{2}}{\pi \times \frac{d^4}{32}} = \frac{16 \times T}{\pi \times d^3} \end{cases} \quad (34)$$

As expressões da equação (34) são específicas para o caso de uma secção circular. Dado que o pino apresenta um diâmetro de 16 mm, tem-se:

$$\begin{cases} \tau_V = \frac{16 \times 137,34}{3 \times \pi \times (16 \times 10^{-3})^2} = 0,911 \text{ MPa} \\ \tau_T = \frac{16 \times 15,44}{\pi \times (16 \times 10^{-3})^3} = 19,198 \text{ MPa} \end{cases} \quad (35)$$

O seguinte passo consiste em calcular a tensão equivalente de von Mises (σ_{vM}):

$$\sigma_{vM} = \sqrt{(\sigma_A + \sigma_M)^2 + 3 \times (\tau_V^2 + \tau_T^2)} \quad (36)$$

Sabendo que não existem tensões devido a força axial nem momentos, ou seja, $\sigma_A = \sigma_M = 0$, e substituindo em (41) os restantes valores de tensão obtidos em (40), tem-se:

$$\sigma_{vM} = \sqrt{3 \times (0,911^2 + 19,198^2)} = 33,29 \text{ MPa} \quad (37)$$

Por fim, este valor deverá ser comparado com a tensão de cedência do material em questão. Sabendo, pela Tabela 17, que S_y (Al 6061-T6) = 276 MPa, S_y (Ti-6Al-4V) = 880 MPa e S_y (Toray T700S) = 4900 MPa e substituindo na equação (6), tem-se:

$$\begin{cases} n_{Al} = \frac{276}{33,29} = 8,29 \\ n_{Ti} = \frac{880}{33,29} = 26,43 \\ n_{T700} = \frac{4900}{33,29} = 147,19 \end{cases} \rightarrow \text{Verifica para todos os materiais} \quad (38)$$

Caso B: apoio na horizontal submetido a peso da perna do utilizador

Este cenário corresponde também a um cenário de carga analisado para o apoio de perna na secção 5.2.7. *Cenários de carga do apoio de pernas*. Tendo-se $P = 137,34 \text{ N}$ e $a = 458,85 \text{ mm}$ (ver Figura 122).

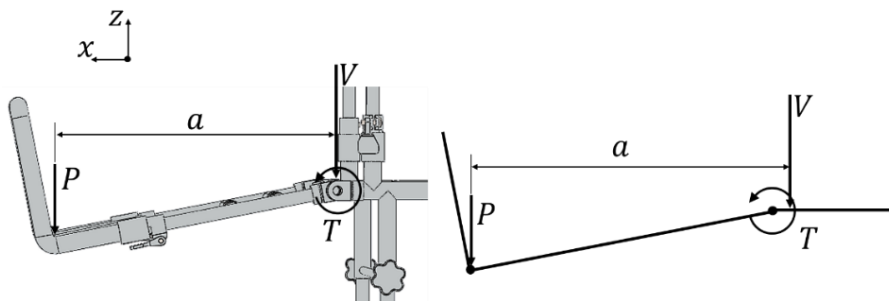


Figura 122 – Representação esquemática e d.c.l. do caso B da ligação entre apoio de pernas e assento

Verifica-se que a força P cria novamente um momento torsor (T) e um esforço transversal (V) no pino (ver Figura 122). Estes esforços são dados por:

$$\begin{cases} V = P = 137,34 \text{ N} \\ T = P \times a = 63,02 \text{ Nm} \end{cases} \quad (39)$$

Substituindo estes valores na equação (34) tem-se:

$$\begin{cases} \tau_V = \frac{16 \times 137,34}{3 \times \pi \times (16 \times 10^{-3})^2} = 0,911 \text{ MPa} \\ \tau_T = \frac{16 \times 63,02}{\pi \times (16 \times 10^{-3})^3} = 78,359 \text{ MPa} \end{cases} \quad (40)$$

Sabendo que não existem tensões devido a força axial nem momentos, ou seja, $\sigma_A = \sigma_M = 0$, e substituindo em (46) os restantes valores de tensão obtidos em (40), tem-se:

$$\sigma_{vM} = \sqrt{3 \times (0,911^2 + 78,359^2)} = 135,73 \text{ MPa} \quad (41)$$

Por fim, este valor deverá ser comparado com a tensão de cedência do material em questão. Sabendo, pela Tabela 17, que S_y (Al 6061-T6) = 276 MPa, S_y (Ti-6Al-4V) = 880 MPa e S_y (Toray T700S) = 4900 MPa e substituindo na equação (6), tem-se:

$$\begin{cases} n_{Al} = \frac{276}{135,73} = 2,03 \\ n_{Ti} = \frac{880}{135,73} = 6,48 \\ n_{T700} = \frac{4900}{135,73} = 36,10 \end{cases} \rightarrow \text{Verifica para todos os materiais} \quad (42)$$

Caso C: apoio submetido a peso total do utilizador

Este cenário corresponde ao terceiro cenário de carga analisado para o apoio de perna na secção 5.2.7. *Cenários de carga do apoio de pernas*. Tendo-se $P = 392,4 \text{ N}$ e $a = 111,3 \text{ mm}$ (ver Figura 123).

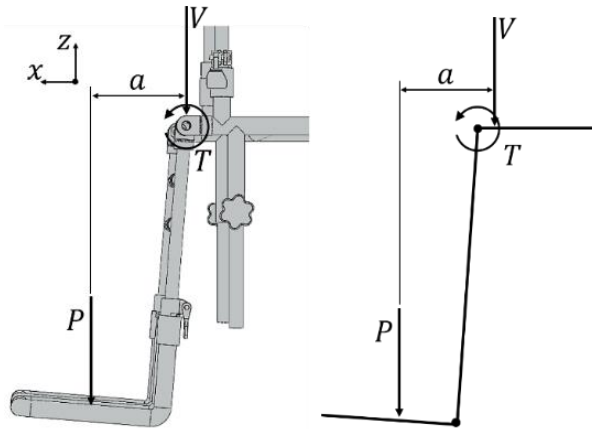


Figura 123 – Representação esquemática e d.c.i. do caso C da ligação entre apoio de pernas e assento

Verifica-se que a força P cria um momento torsor (T) e um esforço transverso (V) no pino (ver Figura 123). Estes esforços são dados por:

$$\begin{cases} V = P = 392,4 \text{ N} \\ T = P \times a = 43,67 \text{ Nm} \end{cases} \quad (43)$$

Substituindo estes valores na equação (39) tem-se:

$$\begin{cases} \tau_V = \frac{16 \times 392,4}{3 \times \pi \times (16 \times 10^{-3})^2} = 2,602 \text{ MPa} \\ \tau_T = \frac{16 \times 43,67}{\pi \times (16 \times 10^{-3})^3} = 54,84 \text{ MPa} \end{cases} \quad (44)$$

Sabendo que não existem tensões devido a força axial nem momentos, ou seja, $\sigma_A = \sigma_M = 0$, e substituindo em (36) os restantes valores de tensão obtidos em (44), tem-se:

$$\sigma_{vM} = \sqrt{3 \times (2,602^2 + 54,84^2)} = 95,09 \text{ MPa} \quad (45)$$

Por fim, este valor deverá ser comparado com a tensão de cedência do material em questão. Sabendo, pela Tabela 17, que S_y (Al 6061-T6) = 276 MPa, S_y (Ti-6Al-4V) = 880 MPa e S_y (Toray T700S) = 4900 MPa e substituindo na equação (6), tem-se:

$$\begin{cases} n_{Al} = \frac{276}{95,09} = 2,9 \\ n_{Ti} = \frac{880}{95,09} = 9,25 \rightarrow \text{Verifica para todos os materiais} \\ n_{T700} = \frac{4900}{95,09} = 51,53 \end{cases} \quad (46)$$

➤ Ligação entre costas e assento

Para esta ligação é estudado apenas um caso, analisando as tensões que estes cenários de carga provocam no parafuso (assumido como pino para estes cálculos). No caso das costas inclinadas, dado que a força exercida e a distância não se alterariam, os valores de tensão e do fator de segurança seriam também os mesmos.

Caso A: costas submetidas a força de encostar

Este cenário corresponde ao primeiro cenário de carga analisado para as costas na secção 5.2.8. *Cenários de carga das costas*. Tendo-se $P = 196,2 \text{ N}$ e $a = 474,8 \text{ mm}$ (ver Figura 124).

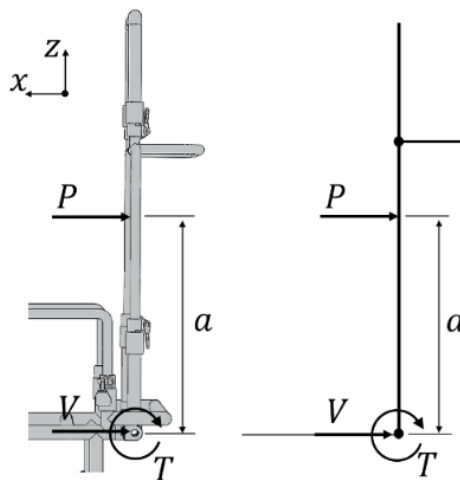


Figura 124 – Representação esquemática e d.c.l. do caso A da ligação entre costas e assento

Verifica-se que a força P cria um momento torsor (T) e um esforço transversal (V) no pino (ver Figura 124). Estes esforços são dados por:

$$\begin{cases} V = P = 196,2 \text{ N} \\ T = P \times a = 93,16 \text{ Nm} \end{cases} \quad (47)$$

Substituindo estes valores na equação (34) tem-se:

$$\begin{cases} \tau_V = \frac{16 \times 196,2}{3 \times \pi \times (16 \times 10^{-3})^2} = 1,301 \text{ MPa} \\ \tau_T = \frac{16 \times 93,16}{\pi \times (16 \times 10^{-3})^3} = 115,835 \text{ MPa} \end{cases} \quad (48)$$

Sabendo que não existem tensões devido a força axial nem momentos, ou seja, $\sigma_A = \sigma_M = 0$, e substituindo em (36) os restantes valores de tensão obtidos em (49), tem-se:

$$\sigma_{VM} = \sqrt{3 \times (1,301^2 + 115,835^2)} = 200,64 \text{ MPa} \quad (49)$$

Por fim, este valor deverá ser comparado com a tensão de cedência do material em questão. Sabendo, pela Tabela 17, que S_y (Al 6061-T6) = 276 MPa, S_y (Ti-6Al-4V) = 880 MPa e S_y (Toray T700S) = 4900 MPa e substituindo na equação (6), tem-se:

$$\begin{cases} n_{Al} = \frac{276}{200,64} = 1,38 \\ n_{Ti} = \frac{880}{200,64} = 4,39 \\ n_{T700} = \frac{4900}{200,64} = 24,42 \end{cases} \rightarrow \text{Verifica para todos os materiais} \quad (50)$$

5.2.8. Situações críticas

Analisando os resultados obtidos nas secções anteriores, verifica-se que o valor do fator de segurança nunca é inferior ao mínimo requerido. No entanto, apesar de verificada a segurança à resistência nos casos indicados, outros cenários podem ser considerados como críticos: viragem da cadeira, inclinação máxima e ligação não suportar carga. A primeira abordagem diz respeito à possível viragem da cadeira, nomeadamente a possível viragem desta quando se encontra com as costas inclinadas. A segunda abordagem, permite obter o valor máximo de uma possível inclinação do pavimento por forma a não virar a cadeira, tanto na posição de costas direitas como na de costas inclinadas. Por fim, a terceira tem como objetivo verificar se o mecanismo de ajuste de posição é capaz de fixar os componentes quando desejado, sem se dar o escorregamento da ligação.

➤ Viragem da cadeira

Um processo que permite concluir se a cadeira vira quando o utilizador se encontra com as costas inclinadas consiste em analisar a posição do centro de massa do conjunto cadeira + pessoa relativamente ao eixo das rodas. Na secção 5.2.2. *Cálculo do centro de massa*, obteve-se um valor de $L(x) = 85,54$ mm. Este valor corresponde à distância entre o fim do assento e o centro de massa. É agora necessário obter a distância entre o fim do assento e o eixo das rodas traseiras. Este valor é obtido através do programa SW, tendo-se $a = 40$ mm (ver Figura 125).

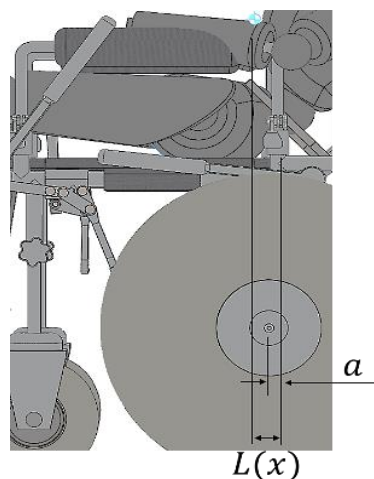


Figura 125 – Esquema de conjunto cadeira + pessoa e respetivas dimensões relevantes

A figura 125 é apenas ilustrativa. Por forma a evitar a viragem da cadeira, o centro de massa deverá estar mais afastado do fim do assento do que o eixo das rodas, ou seja, é necessário verificar-se a seguinte condição:

$$L(x) \geq a \quad (51)$$

Sabendo ambos os valores, conclui-se que a condição (51) é verificada, logo a cadeira não vira quando as costas estão inclinadas. No entanto, é importante referir que a diferença entre os dois valores é de apenas 45 mm, pelo que se for exercida demasiada força nas costas, não compensando no assento, a cadeira irá virar. Esta conclusão, juntamente com algumas outras, exige a criação de uma lista de cuidados a ter na utilização desta cadeira (ver anexos).

➤ Inclinação máxima

Tal como estudado para a cadeira pública, é também analisada qual a inclinação máxima possível para o pavimento na utilização da cadeira pessoal. Dado que são analisados dois cenários (posição com costas direitas e posição com costas inclinadas), são calculados dois valores de inclinação (ver Figuras 126 e 127)

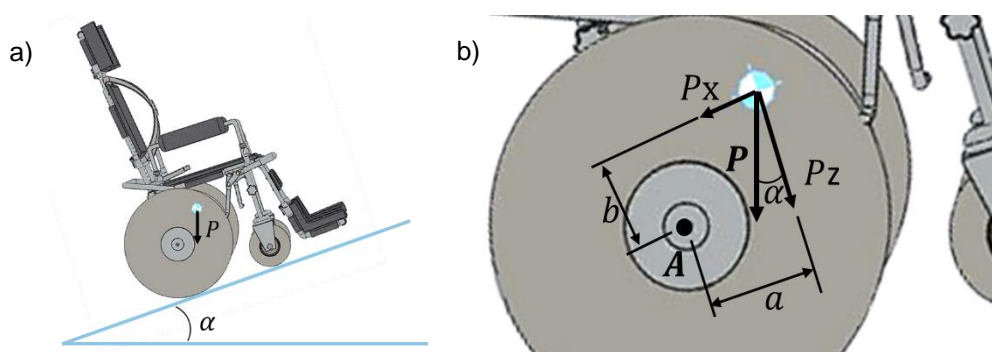


Figura 126 – a) Esquema de cadeira sob pavimento inclinado e b) detalhe e decomposição do peso

Analisando os momentos em A e sabendo que $P = 960,4 \text{ N}$, $a = 153,35 \text{ mm}$ e $b = 660 \text{ mm}$, obtém-se uma inclinação máxima de $\alpha = 13,1^\circ$ para o caso de costas direitas, o que corresponde a uma inclinação relativamente elevada.

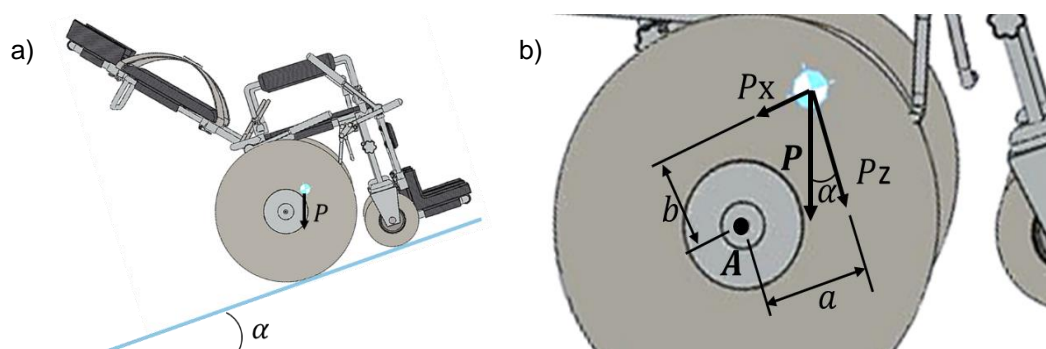


Figura 127 – a) Esquema de cadeira sob pavimento inclinado e b) detalhe e decomposição do peso

Analisando os momentos em A e sabendo que $P = 960,4 \text{ N}$, $a = 45,54 \text{ mm}$ e $b = 660 \text{ mm}$, obtém-se uma inclinação máxima de $\alpha = 4^\circ$ para o caso de costas inclinadas. Este é um valor baixo de inclinação, pelo que apenas se deverá deslocar em pavimentos aproximadamente horizontais quando se encontra nesta posição.

➤ Resistência da ligação

Dado que de entre as duas ligações, a das costas é a que apresenta maiores esforços, apenas se analisará esta ligação. Pretende-se então entender se a força exercida nas costas é suficiente para ceder a ligação (ver Figura 128 a)). Para a ligação escorregar é necessário vencer o atrito entre ambas

as superfícies da ligação, que estão sujeitas a um aperto da ligação aparafusada. Estas forças de atrito provocam um torque na ligação, que contraria o torque T (ver Figura 128 b)).

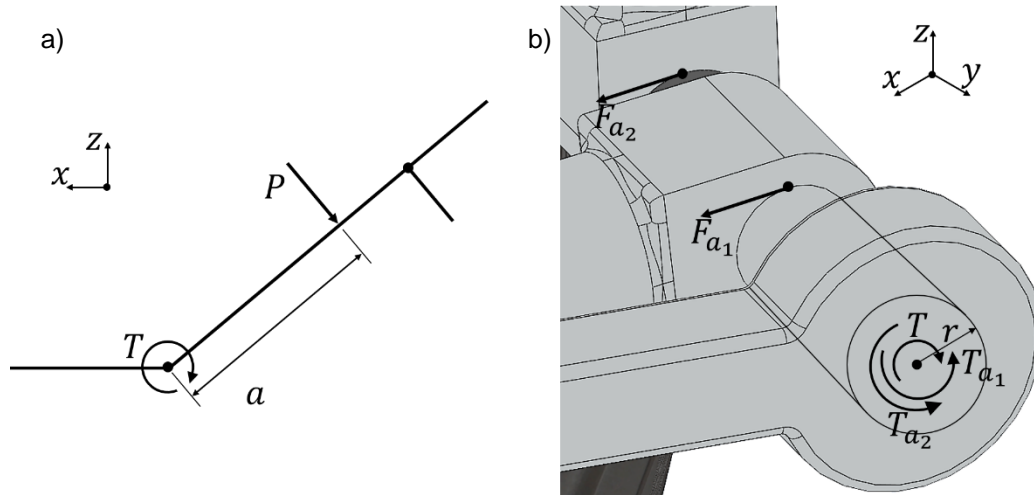


Figura 128 – a) D.c.l. da cadeira com costas inclinadas e b) respectivas forças e forças de atrito existentes na ligação

A superfície 1 corresponde ao contacto entre a alavanca e a peça de ligação existente na estrutura do assento, sendo o material de ambas estas peças a liga de alumínio. A superfície 2 corresponde ao contacto entre a peça de ligação existente na estrutura das costas da cadeira e a borracha existente entre as duas peças de ligação. Neste segundo caso, o contacto dá-se entre uma peça de liga de alumínio e uma peça de borracha.

Os momentos torsores T, Ta₁ e Ta₂ podem ser calculados através da seguinte forma:

$$\begin{cases} T_{a_1} = F_{a_1} \times r \\ T_{a_2} = F_{a_2} \times r \\ T = P \times a \end{cases} \quad (52)$$

Para a ligação não escorregar, é necessário que a soma destes momentos torsores, relativos ao atrito estático, supere o momento tissor exercido pela força P:

$$T \leq T_{a_1} + T_{a_2} \quad (53)$$

As forças de atrito, Fa₁ e Fa₂, por sua vez, são dadas por:

$$\begin{cases} F_{a_1} = \mu_{e_1} \times N \\ F_{a_2} = \mu_{e_2} \times N \end{cases} \quad (54)$$

Os coeficientes de atrito são distintos pois num caso temos duas superfícies de alumínio e, no outro, o contacto dá-se entre uma superfície de alumínio e uma borracha, sendo os seus valores 0,3 e 1 respetivamente ^{[47][48]}. A força normal N corresponde à reação da força de aperto exercida pela ligação aparafusada sobre as superfícies. Esta força de aperto é também chamada de pré-carga no parafuso (F_i). Para obter esta pré-carga é necessário aplicar um momento tissor no parafuso (T_i). De acordo com a equação (8-27) do livro *Shigley's Mechanical Engineering Design* ^[49], a relação simplificada entre este momento tissor e a pré-carga é dada por:

$$T_i = K \times F_i \times d \Leftrightarrow F_i = \frac{T_i}{K \times 2 \times r} \quad (55)$$

Assume-se que o fator de torque K tem um valor de 0,2 (valor mais comum) ^[49]. Substituindo as expressões de (52), (53) e (54) em (55) e sabendo que P = 196,2 N, a = 474,8 mm, K = 0,2, μ_{e1} = 0,3 e μ_{e2} = 1, tem-se:

$$T \leq \mu_{e_1} \times F_i \times r + \mu_{e_2} \times F_i \times r \Leftrightarrow P \times a \leq (\mu_{e_1} + \mu_{e_2}) \times \frac{T_i}{K \times 2 \times r} \times r \Leftrightarrow T_i \geq 28,66 \text{ Nm} \quad (56)$$

Dado que o aperto da ligação é feito aplicando uma força numa alavanca (ver Figura 129), é então necessário calcular o valor desta força para cada superfície.

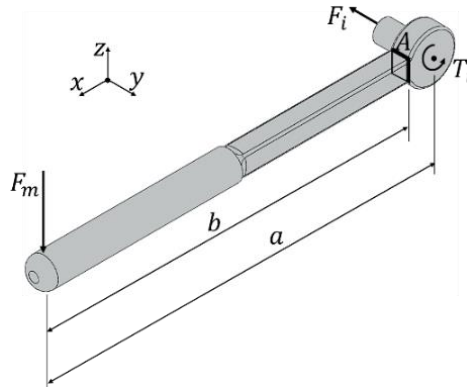


Figura 129 – Esquema da alavanca do mecanismo de ligação

A força F_m , exercida pelo braço do utilizador, é dada por:

$$T_i = F_m \times a \quad (57)$$

Substituindo em (60) e sabendo que $a = 400 \text{ mm}$, tem-se:

$$F_m \times a \geq 28,66 \text{ Nm} \Leftrightarrow F_m \geq 71,66 \text{ N} \quad (58)$$

Para a ligação não escorregar é então apenas necessário exercer uma força $F_m = 71,66 \text{ N}$, sendo que uma pessoa é capaz de exercer até 130 N de força ao manobrar uma alavanca [50]. Por fim, é necessário verificar se a própria alavanca é capaz de suportar esta força, pelo que serão analisados os esforços na secção crítica A (ver Figura 130).

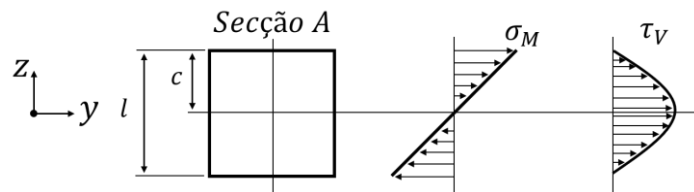


Figura 130 – Esquema da secção A e respetivos esforços

Os esforços na secção quadrada A, com dimensão $l = 20 \text{ mm}$, $V = F_m$ e $b = 375 \text{ mm}$ são dados por:

$$\left\{ \begin{array}{l} \tau_V = \frac{3 \times V}{2 \times A} = \frac{3 \times V}{2 \times l^2} = 0,27 \text{ MPa} \\ \sigma_M = \frac{M \times c}{I} = \frac{F_m \times b \times \frac{l}{2}}{\frac{l^4}{12}} = \frac{6 \times F_m \times b}{l^3} = 20,15 \text{ MPa} \end{array} \right. \quad (59)$$

Sabendo que não existem tensões devido a força axial nem momento torsor, ou seja, $\sigma_A = \tau_T = 0$, e substituindo em (36) os restantes valores de tensão obtidos em (59), tem-se:

$$\sigma_{vM} = \sqrt{20,15^2 + 3 \times 0,27^2} = 20,16 \text{ MPa} \quad (60)$$

Sabendo, pela Tabela 17, que $S_y (\text{Al } 6061\text{-T6}) = 276 \text{ MPa}$, e substituindo na equação (6), tem-se:

$$n_{Al} = \frac{276}{20,16} = 13,69 \quad (61)$$

Dado que a segurança é verificada para o alumínio, também se conclui que para o titânio e para a fibra de carbono, a ligação é segura.

5.3. Desenhos Técnicos

5.3.1. Cadeira pública

Em seguida, apresenta-se uma lista com os desenhos técnicos, respetivos à cadeira de rodas pública, que podem ser encontrados em anexo.

- Cadeira_Pública (desenho de conjunto)
- Estrutura_Principal (desenho de subconjunto)
- Tubo_Costas_1 (desenho de peça)
- Tubo_Costas_4 (desenho de peça)
- Cabeça (desenho de subconjunto)
- Apoio_Perna_Esquerda (desenho de subconjunto)
- Tubo_Apoio_Pernas_1 (desenho de peça)
- Tubo_Apoio_ pernas_3 (desenho de peça)

Relativamente ao toleranciamento, adotou-se um toleranciamento geral grosseiro, correspondendo a tolerâncias dimensionais tipo c e tolerâncias geométricas tipo L ^[51]. A rugosidade média (Ra) considerada insere-se na gama de rugosidades médias dos processos de torneamento e fresagem, tendo-se $R_a = 3,2 \mu\text{m}$ para os tubos em PVC e $R_a = 1,6 \mu\text{m}$ para os tubos em Al 6061-T6 ^[51].

5.3.2. Cadeira pessoal

Em seguida, apresenta-se uma lista com os desenhos técnicos, respetivos à cadeira de rodas pessoal, que podem ser encontrados em anexo.

- Cadeira_Pessoal_1 (desenho de conjunto)
- Assento (desenho de subconjunto)
- Costas (desenho de subconjunto)
- Ajuste_Tamanho (desenho de subconjunto)
- Peça_Ligação_4 (desenho de peça)
- Apoio_Perna_Esquerda (desenho de subconjunto)
- Cabeça (desenho de subconjunto)
- Braço (desenho de subconjunto)
- Ajuste_Posição (desenho de subconjunto)
- Tubo_Proteção (desenho de peça)
- Cadeira_Pessoal_2 (desenho de conjunto)

Relativamente ao toleranciamento, adotou-se um toleranciamento geral grosseiro, correspondendo a tolerâncias dimensionais tipo c e tolerâncias geométricas tipo L ^[51]. A rugosidade média (Ra) considerada insere-se na gama de rugosidades médias dos processos de torneamento e fresagem, tendo-se $R_a = 1,6 \mu\text{m}$ ^[51].

6. Conclusões e Futuros Desenvolvimentos

6.1. Conclusões

O principal objetivo desta dissertação consiste em desenvolver dois projetos de cadeiras de rodas. Um dos projetos pretende a criação de uma cadeira específica para a praia baseada na cadeira desenvolvida em dissertação anterior ^[6], propondo agora algumas melhorias, nomeadamente possibilitando um ajuste de tamanho. No segundo projeto, pretende-se a criação de uma cadeira mais complexa, cujas melhorias assentam nas características consideradas mais importantes pelo utilizador. Após a criação de um questionário online e a análise aos respetivos resultados, foi possível identificar estas características. Assim, desenvolveu-se uma cadeira pública e uma cadeira pessoal.

A cadeira pública corresponde à cadeira mais simples, cuja principal diferença em relação ao seu modelo base consiste na implementação de um mecanismo de ajuste de tamanho utilizado em certos equipamentos, como por exemplo muletas. Este mecanismo com pino de travagem apenas permite ajustes fixos, isto é, apenas permite certas posições pré-definidas. O mecanismo foi implementado nas costas da cadeira e nos apoios das pernas.

A cadeira pessoal, por sua vez, possui diversas melhorias. Tal como a anterior, permite ajuste de tamanho, neste caso através de um mecanismo tipo telescópio, implementado nas costas, nos braços, no apoio de cabeça e nos apoios de pernas. Permite ainda a inclinação das costas e a elevação dos apoios de pernas. É também possível a remoção e troca das rodas traseiras, por forma a permitir a utilização em diversos meios. Para facilitar o transporte e arrumação, é possível desmontar parcialmente a cadeira. Seguindo a sugestão dos inquiridos, foi também criada uma linha de acessórios.

Após diversas análises concluiu-se que ambas as cadeiras verificam os requisitos de segurança. No caso da cadeira pessoal, existindo a possibilidade de utilizar três tipos diferentes de materiais, deverá ser escolhido o material que melhor se adequa aos requisitos. Dado que todos verificam a segurança em todos os casos, esta escolha deverá também ser feita tendo em conta o orçamento do projeto.

6.2. Desenvolvimentos futuros

Uma próxima fase deverá ser estudar também ambas as cadeiras à fadiga, analisando a sua durabilidade. Após este estudo, existirá mais um fator importante para a escolha do material no caso da cadeira pessoal.

Deverão ser também analisados possíveis constrangimentos provenientes do meio onde se utilizam as cadeiras, bem como os seus respetivos impactos na utilização e condições das cadeiras.

Num futuro projeto, poderão ser abordadas características que não foram consideradas mais importantes, nomeadamente o design da cadeira. Relativamente aos mecanismos, talvez pudesse ser implementado, pelo menos na ligação entre o assento e as costas, um mecanismo diferente do utilizado para o ajuste de posição. Este novo mecanismo deverá apresentar uma maior resistência e segurança, bem como não evitar o esforço por parte do utilizador.

7. Referências Bibliográficas

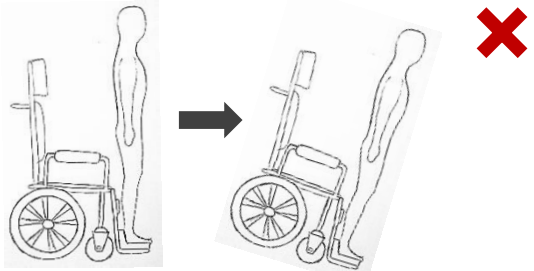
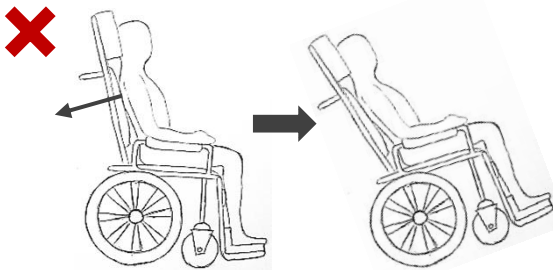
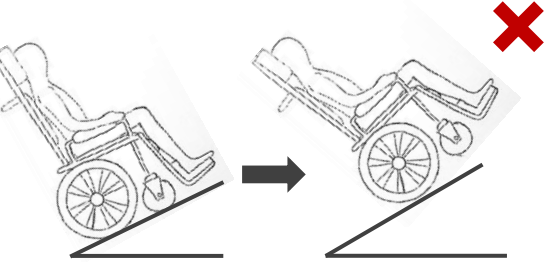
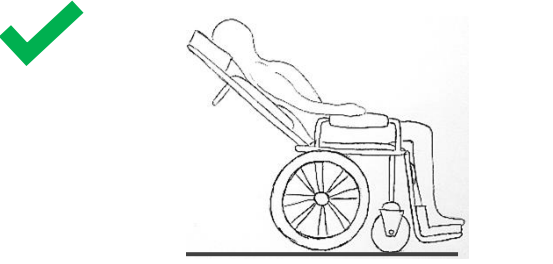

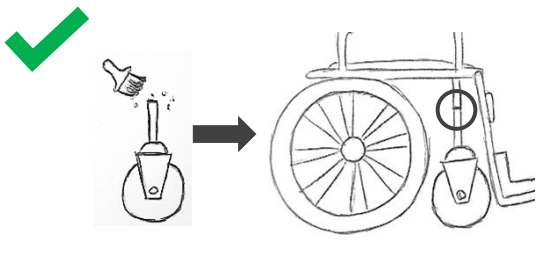
- [1] Wikipédia, a enciclopédia livre. *Deficiência física*. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Defici%C3%Aancia_f%C3%ADsica. [consultado em abril de 2019]
- [2] Portugal Acessível by Associação Salavador. *Benefícios de ser acessível*. Disponível em: <http://www.portugalacessivel.pt/default/module/id/12/>. [consultado em abril de 2019]
- [3] Instituto Nacional para a Reabilitação. *Praia Acessível - Praia para Todos!* Disponível em: http://www.inr.pt/resultados-de-pesquisa/-/journal_content/56/11309/71967?p_p_auth=zPrmit94. [consultado em maio de 2019]
- [4] Município da Nazaré. *Praia Acessível - Praia para Todos!* Disponível em: <http://www.cm-nazare.pt/pt/prai-a-acessivel-prai-a-para-todos>. [consultado em abril de 2019]
- [5] More Moving Moments. Disponível em: <https://moremovingmoments.pt/>. [consultada em maio de 2019]
- [6] Luís Filipe Cordeiro Vaz Brazão. (julho 2019). *Projeto de uma cadeira de rodas para andar na Praia*. Dissertação de mestrado, DEM, IST. Disponível em: <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/cursos/memec/dissertacao/565303595502364>. [consultado em maio de 2019]
- [7] Município de Sesimbra. *Praia do Ouro mais acessível para crianças com mobilidade reduzida*. Disponível em: https://www.sesimbra.pt/pages/1077?news_id=6174. [consultado em maio de 2019]
- [8] Pedro Barbosa Rodrigues e Arlindo Figueiredo e Silva. (2000). *CADEIRAS DE RODAS MANUAIS*. Lisboa, Secretariado Nacional para a Reabilitação e Integração das Pessoas com Deficiência.
- [9] Sunrise Medical. *Helium Pro*. Disponível em: <https://www.sunrisemedical.pt/cadeiras-de-rodas/quickie/cadeiras-de-rodas-ativas/helium-pro>. [consultado em maio de 2019]
- [10] Orthos XII. *CELTA 40-NY 600 PN-MÇ 200*. Disponível em: <http://www.orthosxxi.com/pt/product/celta-40-ny-600-pn-mc-200>. [consultado em maio de 2019]
- [11] TargetHD. *Zinger, uma cadeira de rodas elétrica e dobrável*. Disponível em: <https://www.targethd.net/zinger-uma-cadeira-de-rodas-eletrica-e-dobavel/>. [consultado em maio de 2019]
- [12] Sunrise Medical. *All Court Ti*. Disponível em: <https://www.sunrisemedical.pt/cadeiras-de-rodas/quickie/cadeiras-de-rodas-desportivas/allcourt-ti>. [consultado em maio de 2019]
- [13] AliExpress. *Nairdi 3 Universal Mute Wheel Office Chair Caster Replacement*. Disponível em: <https://www.aliexpress.com/item/32901257243.html>. [consultado em maio de 2019]
- [14] Scott Openshaw e Erin Taylor. (2006). *Ergonomics and Design: A Reference Guide*. Allsteel Inc. Disponível em: <http://www.allsteeloffice.com/SynergyDocuments/ErgonomicsAndDesignReferenceGuideWhitePaper.pdf>. [consultado em maio de 2019]
- [15] Tiffany Carlson, SpinalCord.com. (abril de 2018). *The Good, the Bad and the Ugly of Beach Wheelchairs*. Disponível em: <https://www.spinalcord.com/blog/the-good-the-bad-and-the-ugly-of-beach-wheelchairs>. [consultado em março de 2019]
- [16] HME Medical Shop. *ALL TERRAIN CHAIR MJM INTL 722-ATC-YEL*. Disponível em: <https://www.hmemedicalshop.com/all-terrain-chair-mjm-intl-722-atc-yel.html>. [consultado em março de 2019]
- [17] Push Mobility. *Sandcruiser® Beach Wheelchair*. Disponível em: <https://www.pushmobility.com.au/products/sandcruiser-beach-wheelchair>. [consultado em março de 2019]

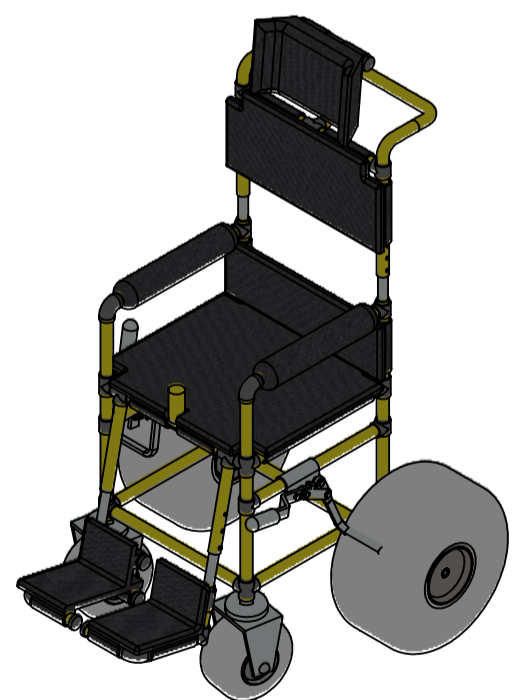
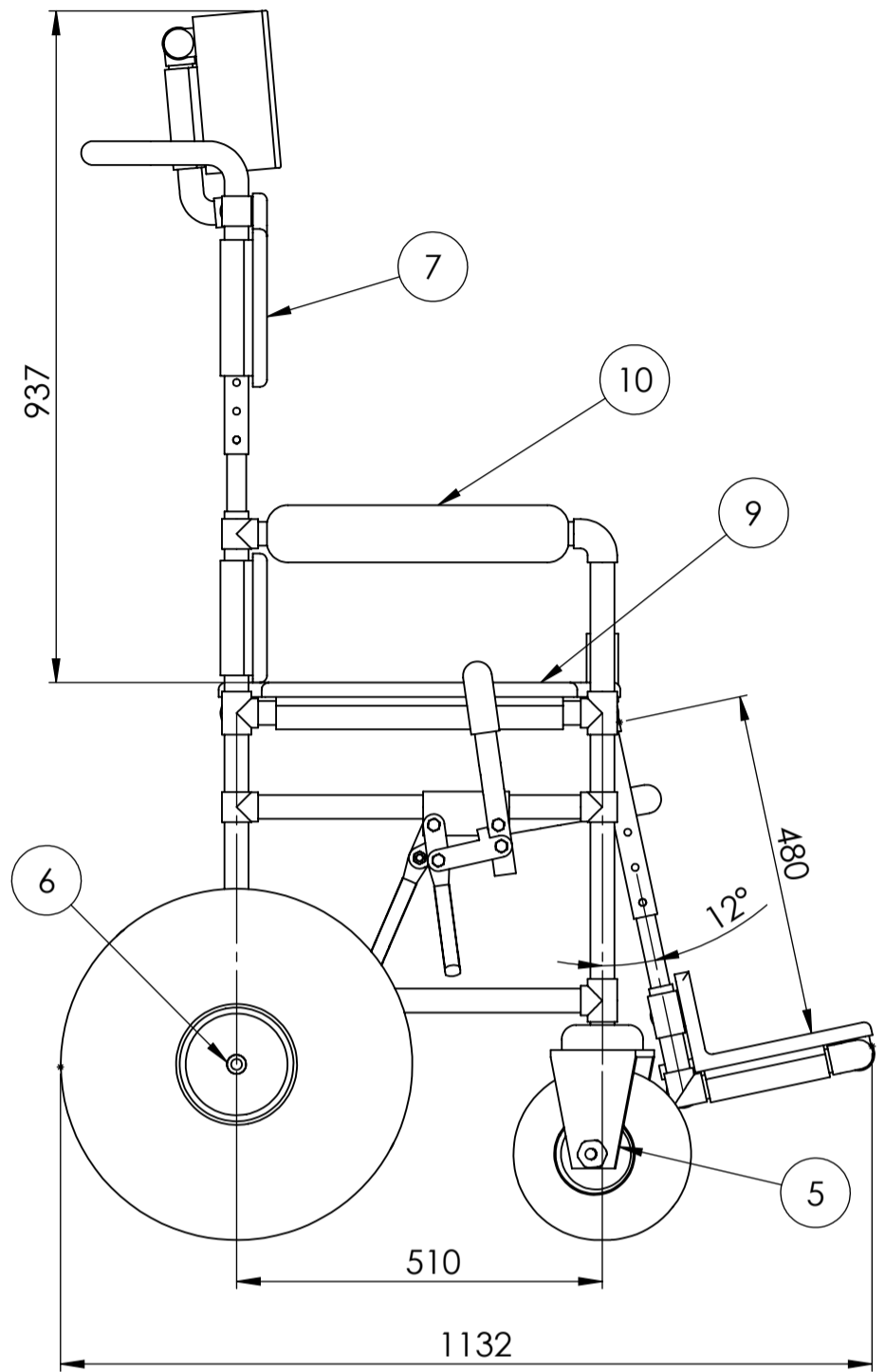
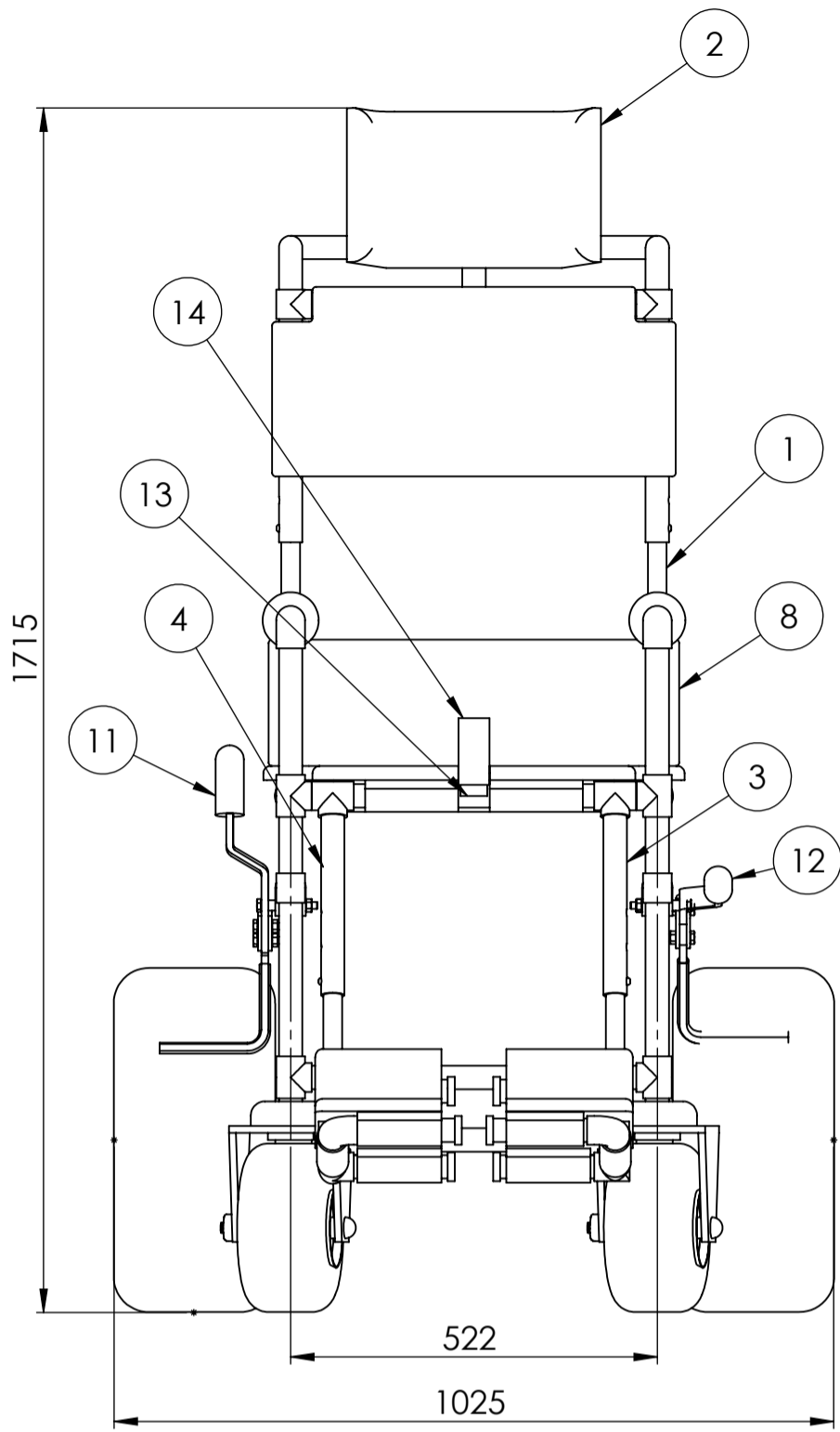
- [18] Vipamat. *The Hippocampe all-terrain beach wheelchair*. Disponível em: <http://www.vipamat.com/hippocampe-beach-and-all-terrain.php#prettyPhoto>. [consultado em março de 2019]
- [19] Beach Trotters. *NEPTUNE CONFORT*. Disponível em: <http://en.beach-trotters.com/amphibious-chair-amphibious-chair-details-p-neptune-confort-1-t-1247>. [consultado em março de 2019]
- [20] Odditymall. (2017). *SandRoller: A Giant Wheeled Beach Wheelchair*. Disponível em: <https://odditymall.com/sandroller-giant-wheeled-beach-wheelchair>. [consultado em março de 2019]
- [21] Box Wheelchairs. *Beach Bomber & Trail Bomber Offroad Chairs*. Disponível em: <https://www.boxwheelchairs.com/beach-bomber>. [consultado em março de 2019]
- [22] MOGOWHEELCHAIRS. *BOX BEACHBOMBER - BEACH WHEELCHAIR*. Disponível em: <http://www.mogowheelchairs.com.au/box-beachbomber-beach-wheelchair>. [consultado em abril de 2019]
- [23] Google Patents. *Recreational wheelchair*. Disponível em: <https://patents.google.com/patent/US5634650A/en?q=US5634650>. [consultado em março de 2019]
- [24] Google Patents. *All-terrain wheelchair*. Disponível em: <https://patents.google.com/patent/US4892323A/en?q=US4892323>. [consultado em março de 2019]
- [25] Google Patents. *All-terrain wheelchair*. Disponível em: <https://patents.google.com/patent/US5149118A/en?q=US5149118>. [consultado em março de 2019]
- [26] Google Patents. *Amphibious mobility assist vehicle for mobility impaired persons*. Disponível em: <https://patents.google.com/patent/US5291846A/en?q=US5291846>. [consultado em março de 2019]
- [27] Google Patents. *Amphibious star-wheeled vehicle*. Disponível em: <https://patents.google.com/patent/US3348518A/en?q=US3348518>. [consultado em março de 2019]
- [28] Google. *Google forms*. Disponível em: <https://www.google.com/forms/about/>. [consultado em maio de 2019]
- [29] Karl T. Ulrich e Steven D. Eppinger. (2011). *Product Design and Development*. Nova Iorque, McGraw-Hill Education.
- [30] C&S Plastics website. *Products*. Disponível em: <https://www.candsplastics.com/products.html>. [consultado em abril de 2019]
- [31] Wheeleez website. *WHELLS*. Disponível em: <https://wheeleez.com/wheels/>. [consultado em junho de 2019]
- [32] Patio Productions. *Outdoor Cushion Buying Guide: Materials, Foam, & Padding*. Disponível em: <https://www.patioproductions.com/blog/news/outdoor-cushion-buying-guide/>. [consultado em junho de 2019]
- [33] Sailrite website. *Foam Series: Comparing Types of Cushion Foam*. Disponível em: <https://www.sailrite.com/Foam-Series-Comparing-Types-of-Cushion-Foam>. [consultado em junho de 2019]
- [34] GOPHER. *SmartStudy Adjustable Tabletop Desks*. Disponível em: <https://www.gophersport.com/pe/active-classroom/smartstudy-adjustable-tabletop-desk>. [consultado em agosto de 2019]
- [35] European Springs and Pressings. *Button Clips: The Crutch of the Matter*. Disponível em: <https://www.europeansprings.com/button-clips-the-crutch-of-the-matter/>. [consultado em agosto de 2019]
- [36] Ocelco Health Equipment and Parts. *MRI Brake for Detachable Arm MRI Wheelchair, Aluminum*. Disponível em: <https://www.ocelco.com/store/pc/MRI-Brake-for-Detachable-Arm-MRI-Wheelchair-Aluminum-p1160.htm>. [consultado em agosto de 2019]

- [37] Quickie Wheelchairs. *Quickie 24" Lite-Spoke Wheel Complete*. Disponível em: <https://www.quickie-wheelchairs.com/Wheelchair-Parts-Accessories/Assorted-Wheelchair-Parts/Wheels-Hand-Rims-Axles/Wheelchair-Wheels/Quickie-24-Lite-Spoke-Wheel-Complete/39159p>. [consultado em setembro de 2019]
- [38] DragonPlate. *TELESCOPING TUBE CLAMPS AND TUBES*. Disponível em: <https://dragonplate.com/Telescoping-Tube-Clamps-and-Tubes>. [consultado em setembro de 2019]
- [39] Monroe Engineering. *HOW A QUICK RELEASE PIN WORKS*. Disponível em: <https://monroeengineering.com/info-pins-how-quick-release-pin-works.php>. [consultado em setembro de 2019]
- [40] RAM MOUNTS. *RAM® TOUGH-CLAW™*. Disponível em: <https://www.rammount.com/product-lines/tough-claw>. [consultado em setembro de 2019]
- [41] Dielectric Manufacturing. *PVC (Polyvinyl Chloride)*. Disponível em: https://dielectricmfg.com/knowledge-base/pvc-polyvinyl-chloride/?seq_no=2. [consultado em setembro de 2019]
- [42] MatWeb. Disponível em: <http://www.matweb.com/index.aspx>. [consultado em setembro de 2019]
- [43] Schuster, C. H. (2015). *Projeto da parte mecânica de uma cadeira de rodas motorizada*. Universidade Federal do Pampa, Brasil. Disponível em: <http://docplayer.com.br/80805684-Universidade-federal-do-pampa-cristiano-henrique-schuster.html>. [consultado em setembro de 2019]
- [44] TORAYCA. *T700S Data Sheet*. Disponível em: https://www.toraycma.com/file_viewer.php?id=4459. [consultado em outubro de 2019]
- [45] Quora. *Which carbon fiber is the best for a carbon frame bike, a t700 or t800?* Disponível em: <https://www.quora.com/Which-carbon-fiber-is-the-best-for-a-carbon-frame-bike-a-t700-or-t800>. [consultado em outubro de 2019]
- [46] GarbCAD. *The Human*. Disponível em: <https://grabcad.com/library/the-human-1>. [consultado em outubro de 2019]
- [47] AUTHORIZED TRAINING CENTER FOR MSC.ADAMS. *Material Contact Properties Table*. Disponível em: http://atc.sjf.stuba.sk/files/mechanika_vms_ADAMS/Contact_Table.pdf. [consultado em outubro de 2019]
- [48] CTB. *Atrito e Coeficiente de Atrito*. Disponível em: <https://www.ctborracha.com/borracha-sintese-historica/propriedades-das-borrachas-vulcanizadas/propriedades-tribologicas/>. [consultado em outubro de 2019]
- [49] Richard G. BUDYNAS e J. Keith NISBETT. (2015). *Shigley's Mechanical Engineering Design Tenth Edition in SI Units*. Nova Iorque, McGraw-Hill Education
- [50] CCOHS. *OSH Answers Fact Sheets: Pushing & Pulling – General*. Disponível em: <https://www.ccohs.ca/oshanswers/ergonomics/push1.html>. [consultado em outubro de 2019]
- [51] Arlindo Silva, Carlos Tavares Ribeiro, João Dias e Luís Sousa. (2004). *Desenho Técnico Moderno, 12ª Edição*. Lisboa, Lidel

8. Anexos

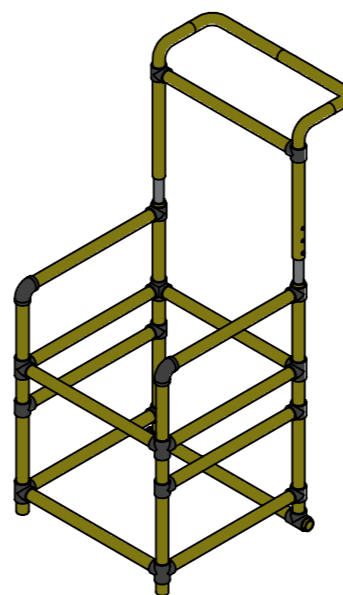
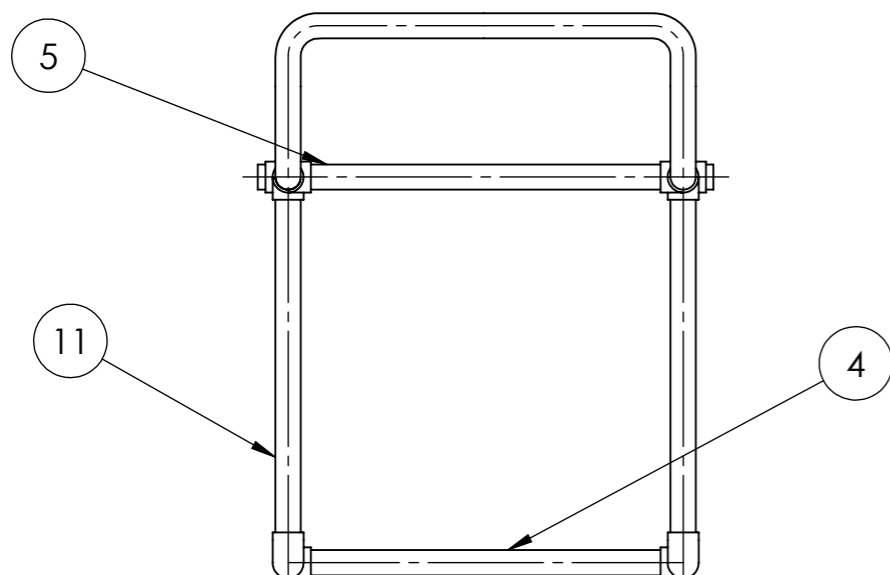
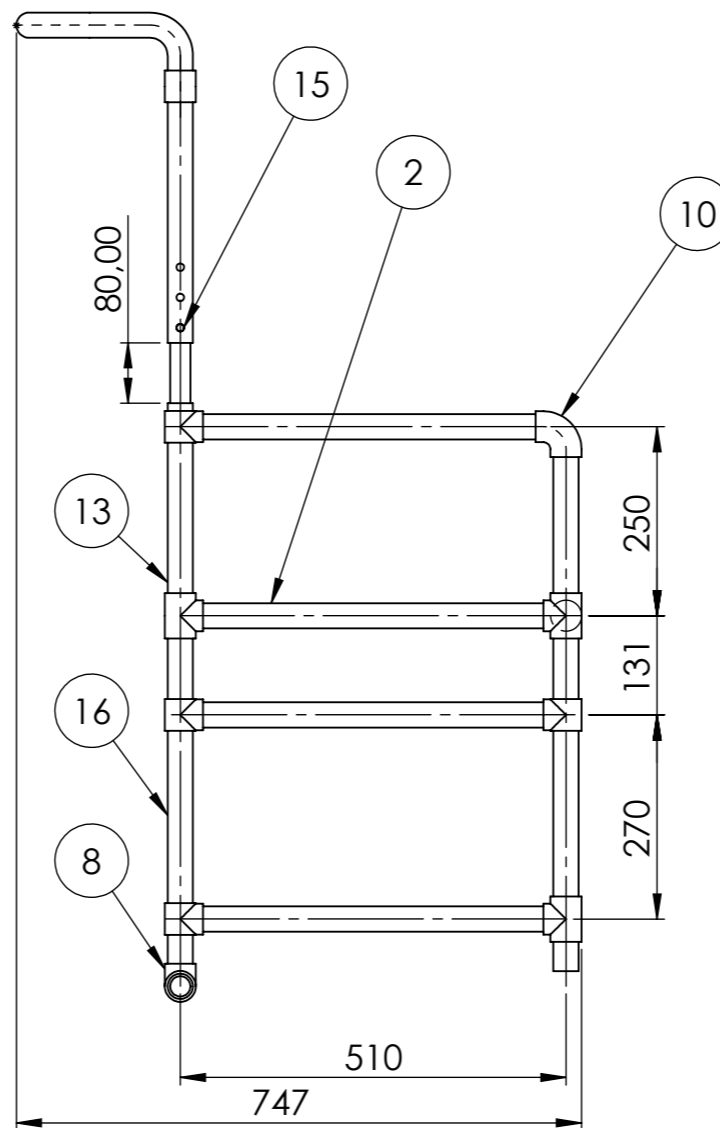
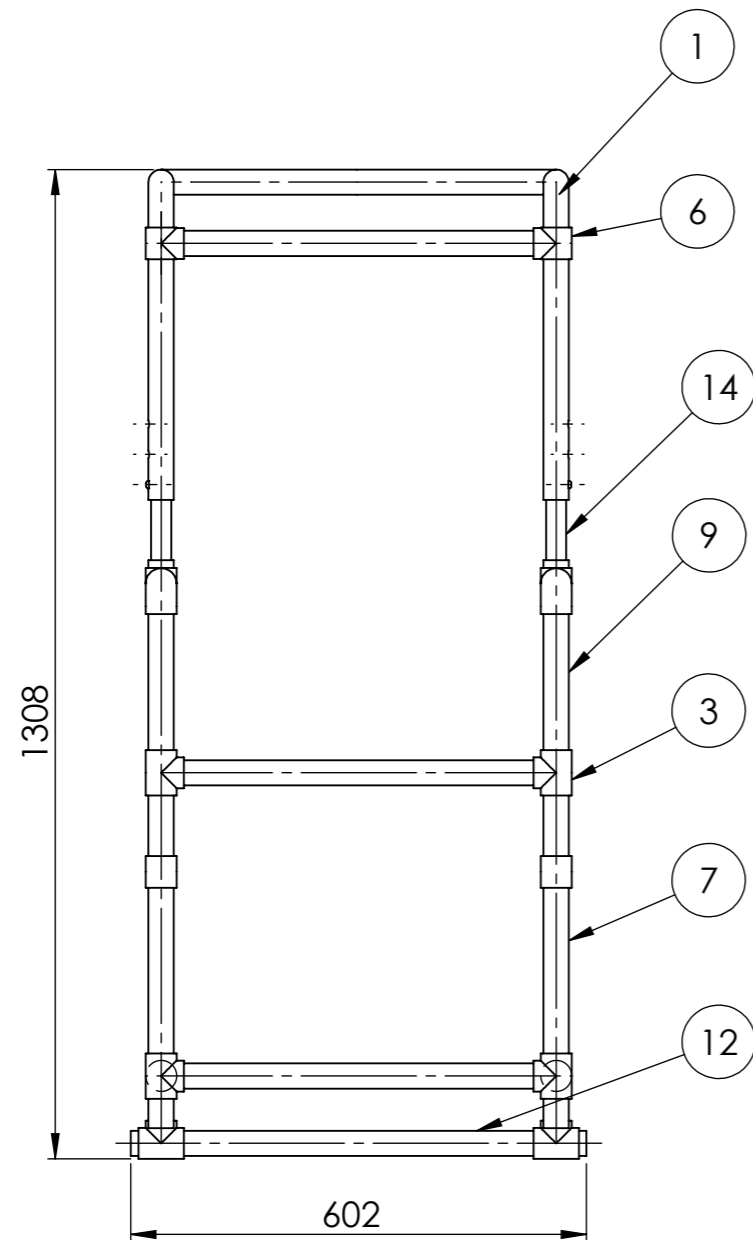
Cuidados a ter!

<p>1. Por favor não se levante em cima dos apoios de pernas!</p>	 <p>A line drawing of a person standing on the footrests of a wheelchair. An arrow points to another drawing where the person is leaning back against the footrests. A red 'X' is in the top right corner.</p>
 <p>A line drawing of a person leaning back against the backrest of a wheelchair. An arrow points to another drawing where the person is leaning even further back. A red 'X' is in the top left corner.</p>	<p>2. Por favor tenha cuidado ao se encostar, não exerça demasiado peso nas costas!</p>
<p>3. Não deverá deslocar-se sozinho em superfícies com inclinação elevada!</p>	 <p>A line drawing of a wheelchair on an inclined surface. An arrow points to another drawing where the wheelchair is tilted further up the incline. A red 'X' is in the top right corner.</p>
 <p>A line drawing of a wheelchair on a horizontal surface. A green checkmark is in the top left corner.</p>	<p>4. No caso de se deslocar com as costas totalmente inclinadas, deve permanecer em superfícies horizontais!</p>
<p>5. Ao alterar a posição das costas e dos apoios de pernas garanta o aperto através da alavanca!</p>	 <p>A line drawing of a person adjusting the footrests of a wheelchair. A green checkmark is in the top right corner.</p>
 <p>A line drawing of a person cleaning the footrest of a wheelchair with a brush. A green checkmark is in the top left corner.</p>	<p>6. Ao proceder à desmontagem e montagem da cadeira, garanta a limpeza das peças!</p>



Nº	Designação	Qde	Material	Referência
1	Estrutura_Principal	1		81521_01_01
2	Cabeça	1		81521_01_02
3	Apoio_Perna_Esquerda	1		81521_01_03
4	Apoio_Perna_Direita	1		-----
5	Rodízio	2		-----
6	Roda	2		-----
7	Colchão_1	1		-----
8	Colchão_3	1		-----
9	Colchão_2	1		-----
10	Colchão_7	2		-----
11	Travão_Direito	1		-----
12	Travão_Esquerdo	1		-----
13	Peça_Segurança_1	1	PVC	-----
14	Peça_Segurança_2	1	PVC	-----

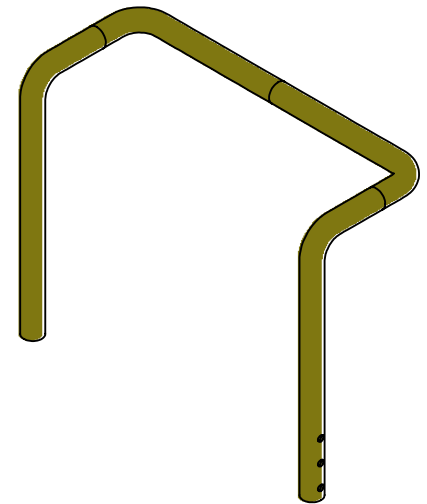
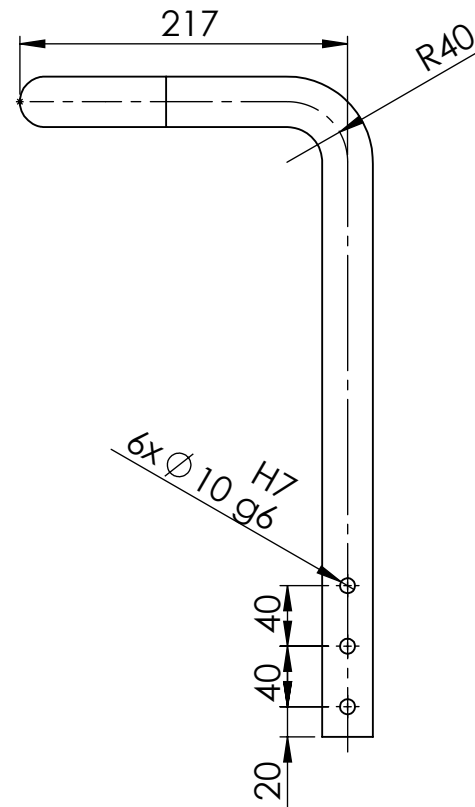
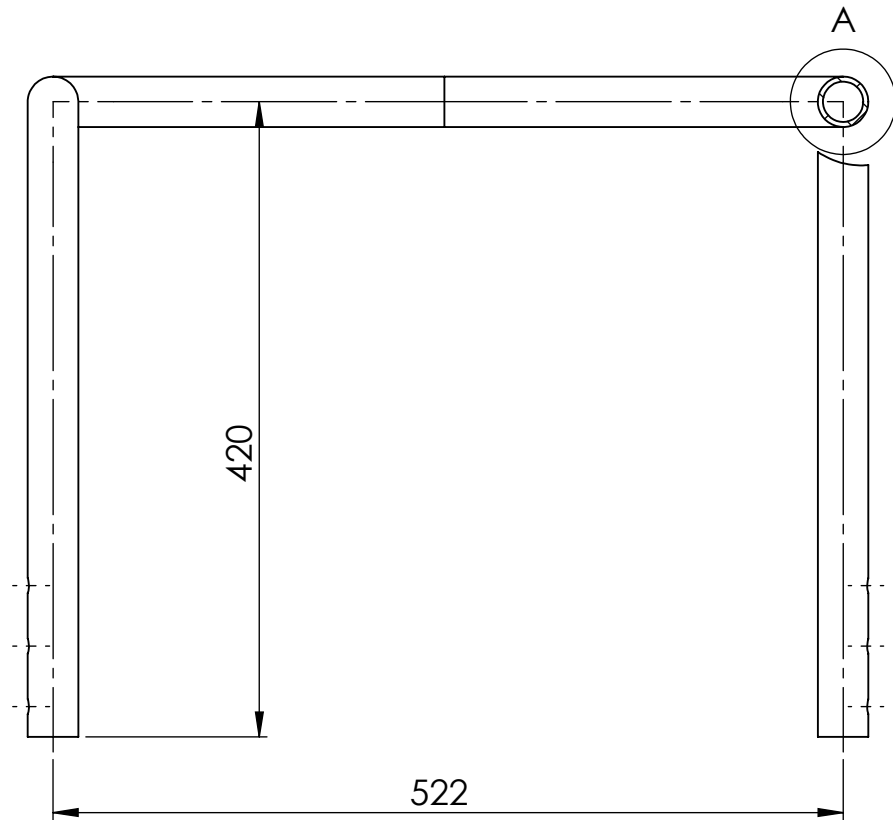
	Escala 1:10	Rúbrica _____	Data 25/11/2019	
	Material:	Desenhou _____	Verificou _____	
Tolerância Gerat: ISO 2768-cL	Notas:			Cadeira Pública
Acabamentos:	Folha A3	Desenho n.º 81521_01	Folha 1	



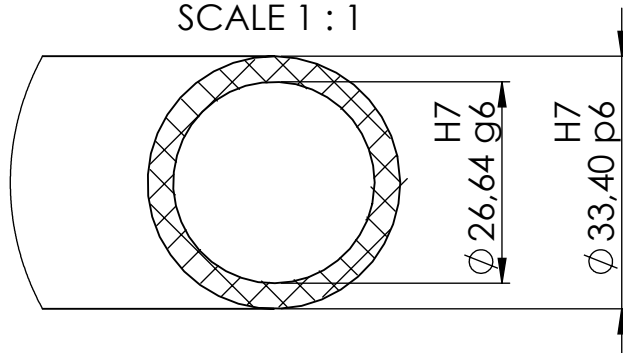
Nº	Designação	Qde	Material	Referência
1	Tubo_Costas_1	1	PVC	81521_01_01_01
2	Tubo_Assento_1	6	PVC	-----
3	Junta_3	6	PVC	-----
4	Tubo_Assento_2	3	PVC	-----
5	Tubo_Costas_2	1	PVC	-----
6	Junta_4	10	PVC	-----
7	Tubo_Pernas_1	2	PVC	-----
8	Junta_1	2	PVC	-----
9	Tubo_Braços_2	2	PVC	-----
10	Junta_2	2	PVC	-----
11	Tubo_Braços_1	2	PVC	-----
12	Tubo_Eixo_Rodas	1	PVC	-----
13	Tubo_Costas_3	2	PVC	-----
14	Tubo_Costas_4	2	PVC	81521_01_01_02
15	Pino_Ajuste	2	Al 6061-T6	-----
16	Tubo_Pernas_2	2	Al 6061-T6	-----

	Escala 1:10	Rubrica _____	Data 25/11/2019	
	Material:	Desenhou _____	Verificou _____	
Tolerância Geral: ISO 2768-cL	Notas:			Estrutura_Principal
Acabamentos:	Folha A3	Desenho n.º 81521_01_01	Folha 1	

3,2

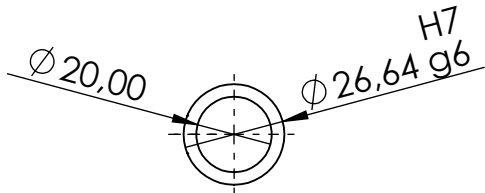
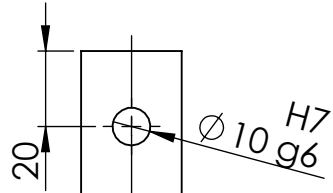
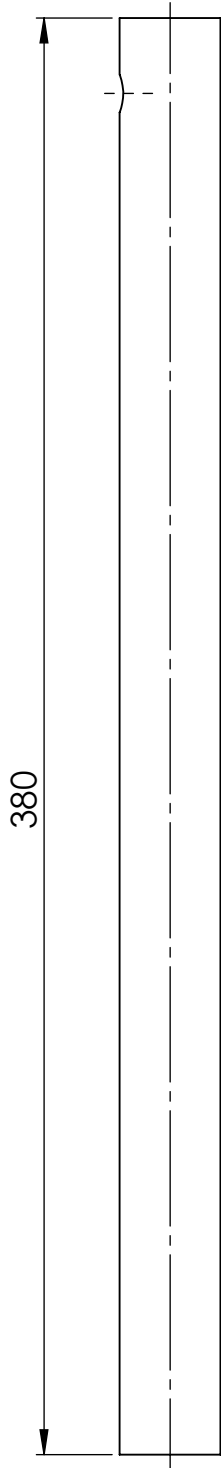


DETAIL A
SCALE 1 : 1

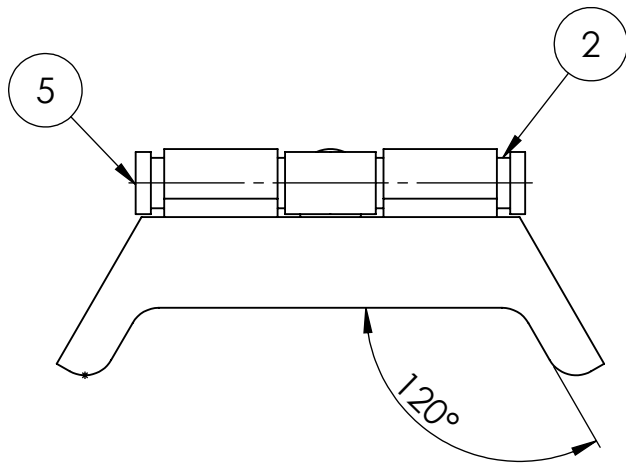
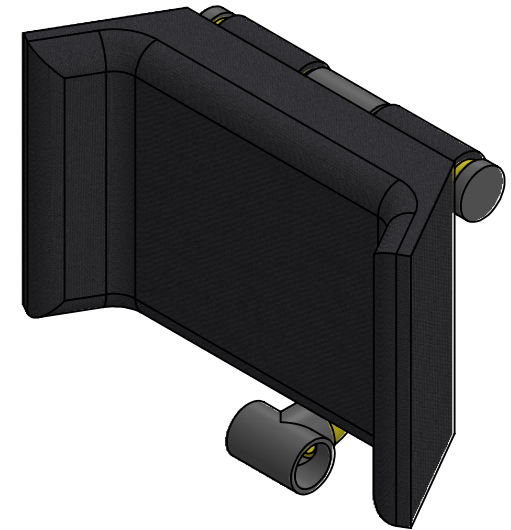
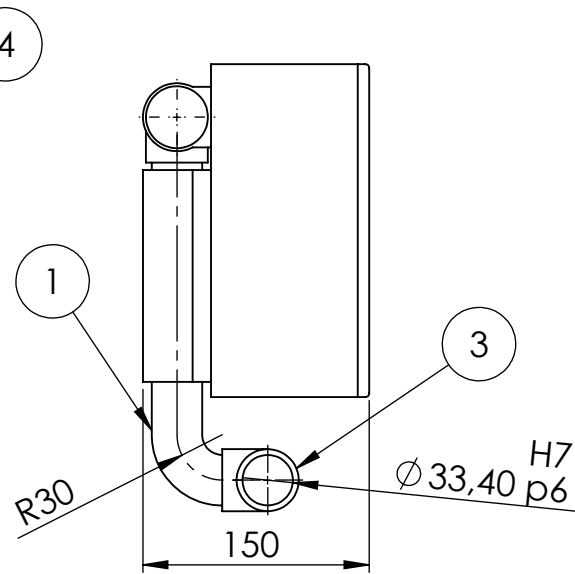
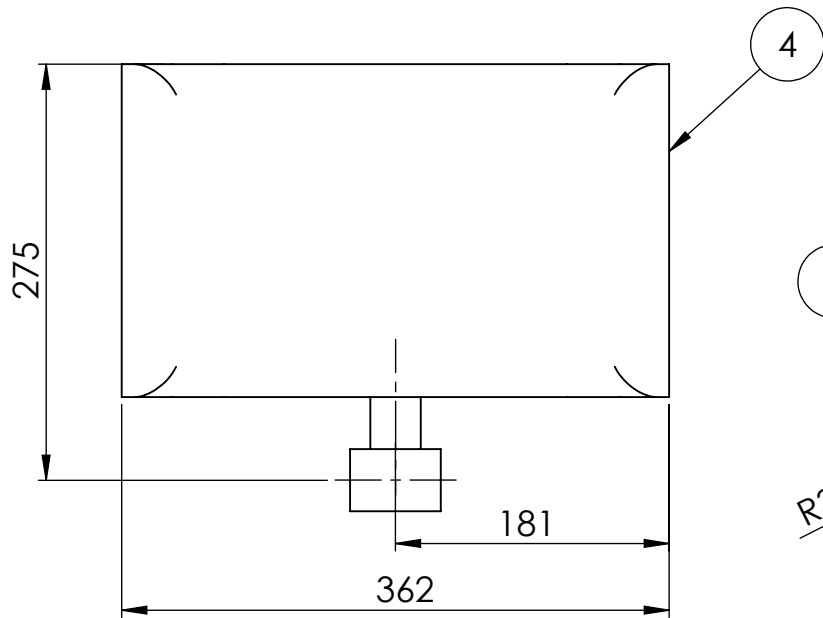


	Escala		Rúbrica	Data	
	1:5			23/11/2019	
Material: PVC	Desenhou		Projectou		Nome: Sara Pinto n.º 81521
Tolerância Geral: ISO 2768-cL	Verificou		Fabricou		Curso: MEMec
Acabamentos:	Notas:			<h2 style="margin: 0;">Tubo_Costas_1</h2>	
	Folha	Desenho n.º	Folha		
	A4	81521_01_01_01	1	0,69 kg	

1,6

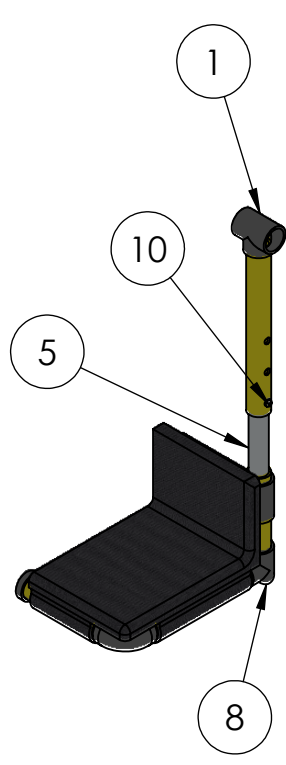
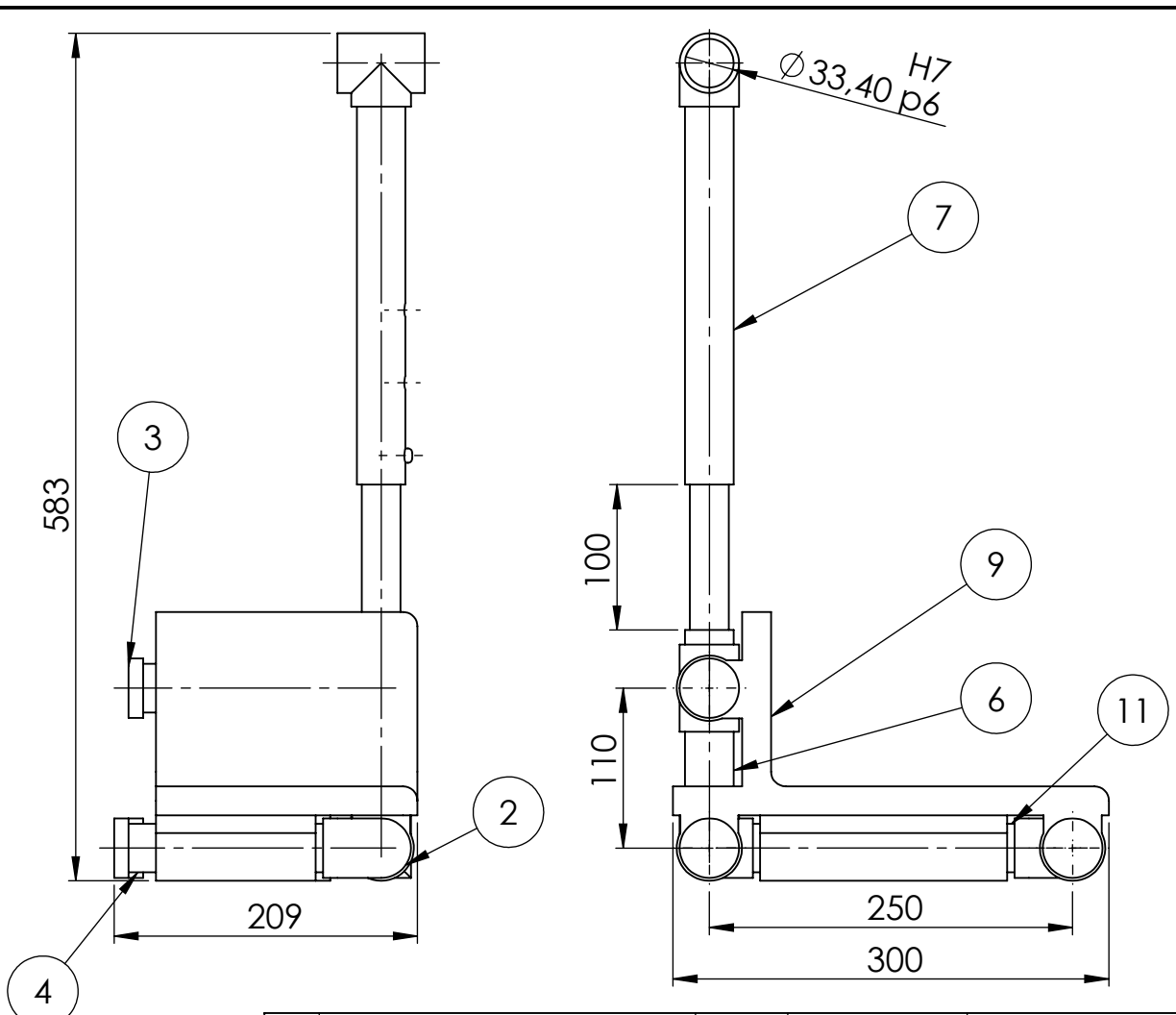


	Escala	Rúbrica	Data		
	1:2	Desenhou	25/11/2019		
Material: Al 6061-T6	Projectou			Nome: Sara Pinto n.º 81521	
Tolerância Geral: ISO 2768-cL	Fabricou			Curso: MEMec	
Acabamentos:	Notas:			Tubo_Costas_4	
	Folha	Desenho n.º	Folha	Peso:	
	A4	81521_01_01_02	1	0,25 kg	



Nº	Designação	Qde	Material	Referência
1	Tubo_Cabeça_1	1	PVC	-----
2	Tubo_Cabeça_2	1	PVC	-----
3	Junta_1	2	PVC	-----
4	Colchão_6	1		-----
5	Junta_5	2	PVC	-----

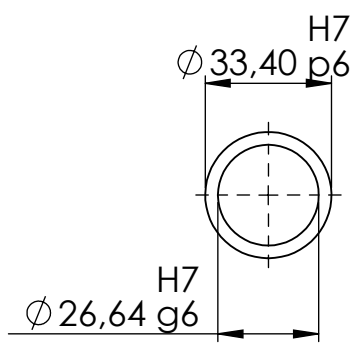
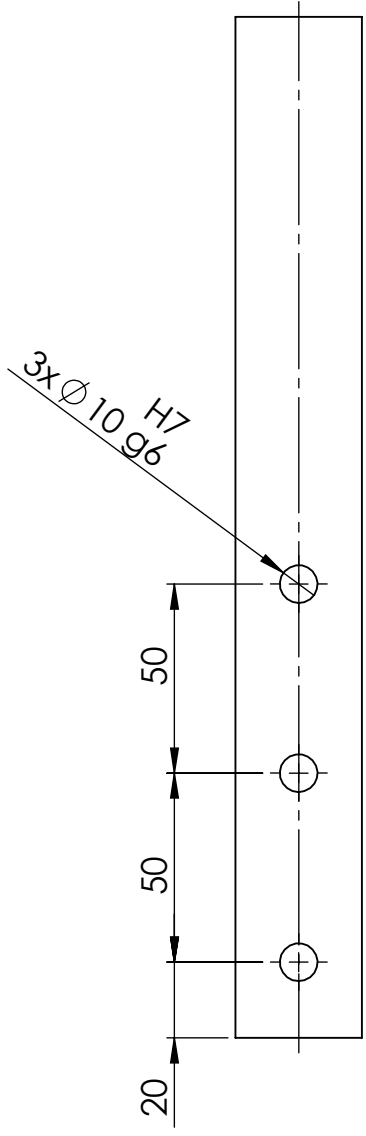
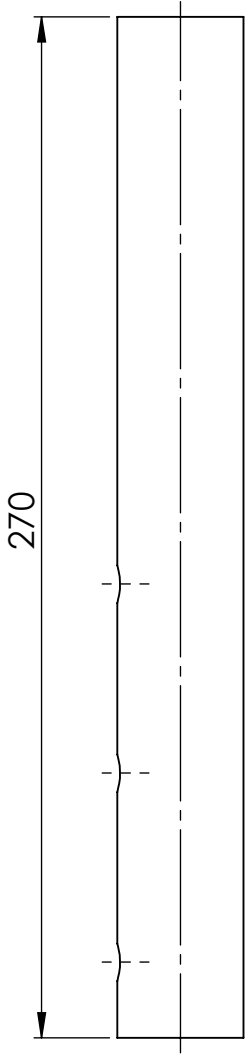
	Escala	Rúbrica	Data		
	1:5		25/11/2019		
Material:	Projectou			Nome: Sara Pinto n.º 81521	
	Fabricou			Curso: MEMec	
Tolerância Geral: ISO 2768-cL	Notas:			<h2>Cabeça</h2>	
Acabamentos:					
Folha	Desenho n.º	Folha	Peso:		
A4	81521_01_02	1	0,38 kg		



Nº	Designação	Qde	Material	Referência
1	Junta_1	2	PVC	-----
2	Junta_2	1	PVC	-----
3	Junta_5	3	PVC	-----
4	Tubo_Apoio_Pernas_2	3	PVC	-----
5	Tubo_Apoio_Pernas_3	1	Al 6061-T6	81521_01_03_02
6	Tubo_Apoio_Pernas_4	1	PVC	-----
7	Tubo_Apoio_Pernas_1	1	PVC	81521_01_03_01
8	Junta_6	1	PVC	-----
9	Colchão_5	1		-----
10	Pino_Ajuste	1	Al 6061-T6	-----
11	Tubo_Apoio_Pernas_5	1	PVC	-----

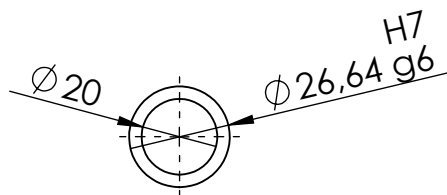
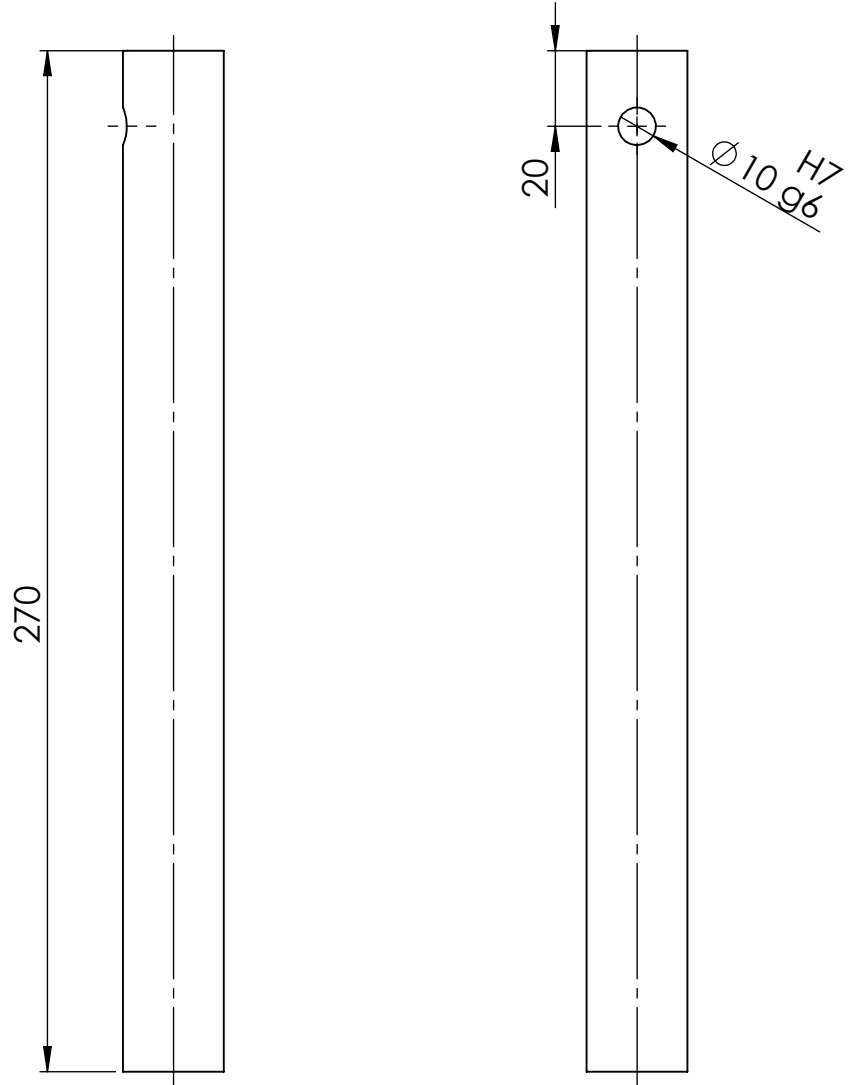
	Escala 1:5	Rúbrica _____	Data 25/11/2019	
	Material:	Desenhado Verificado	Projectado Fabricado	
Tolerância Geral: ISO 2768-cL	Notas:			Apoio_Perna_Esquerda
Acabamentos:	Folha A4	Desenho n.º 81521_01_03	Folha 1	

3,2/
▽

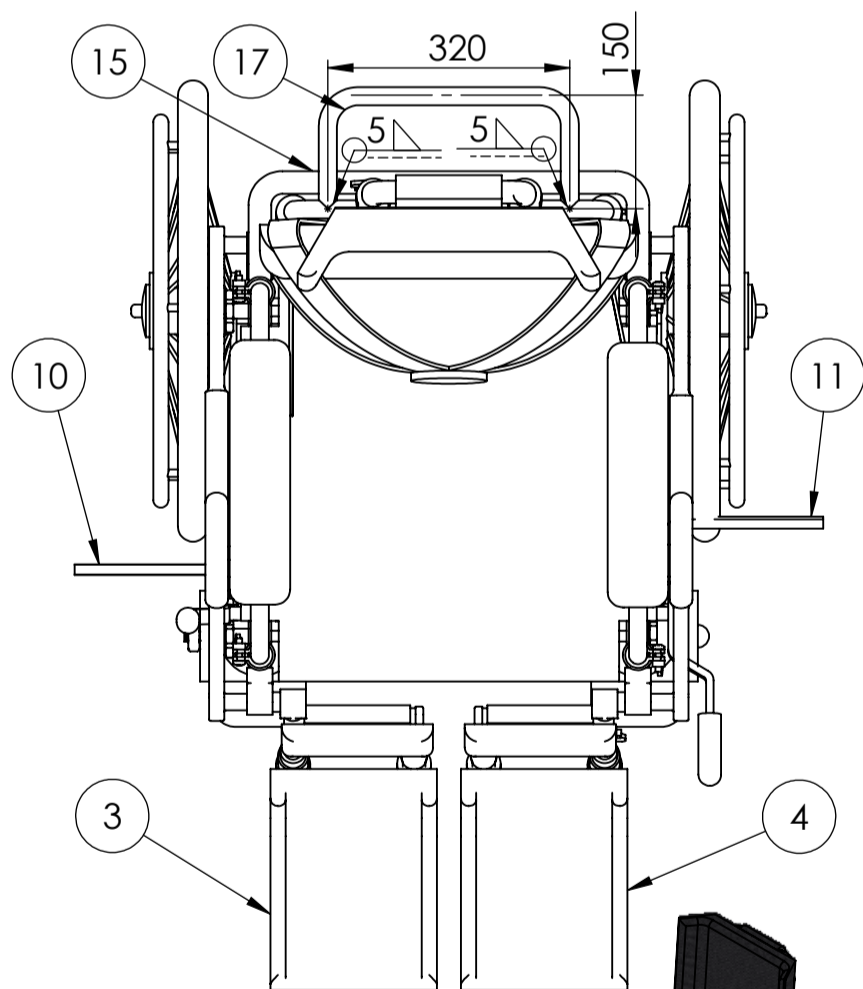
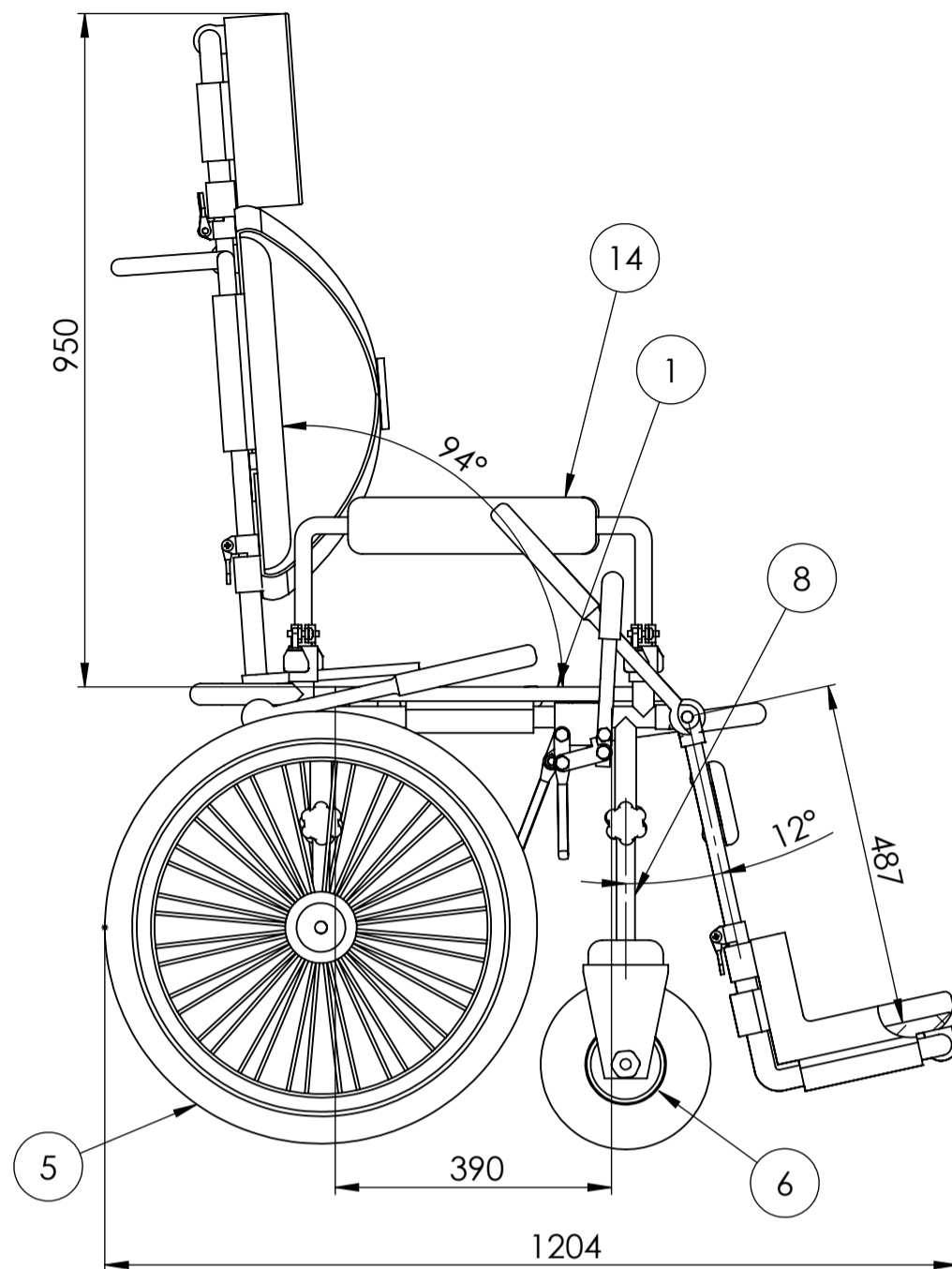
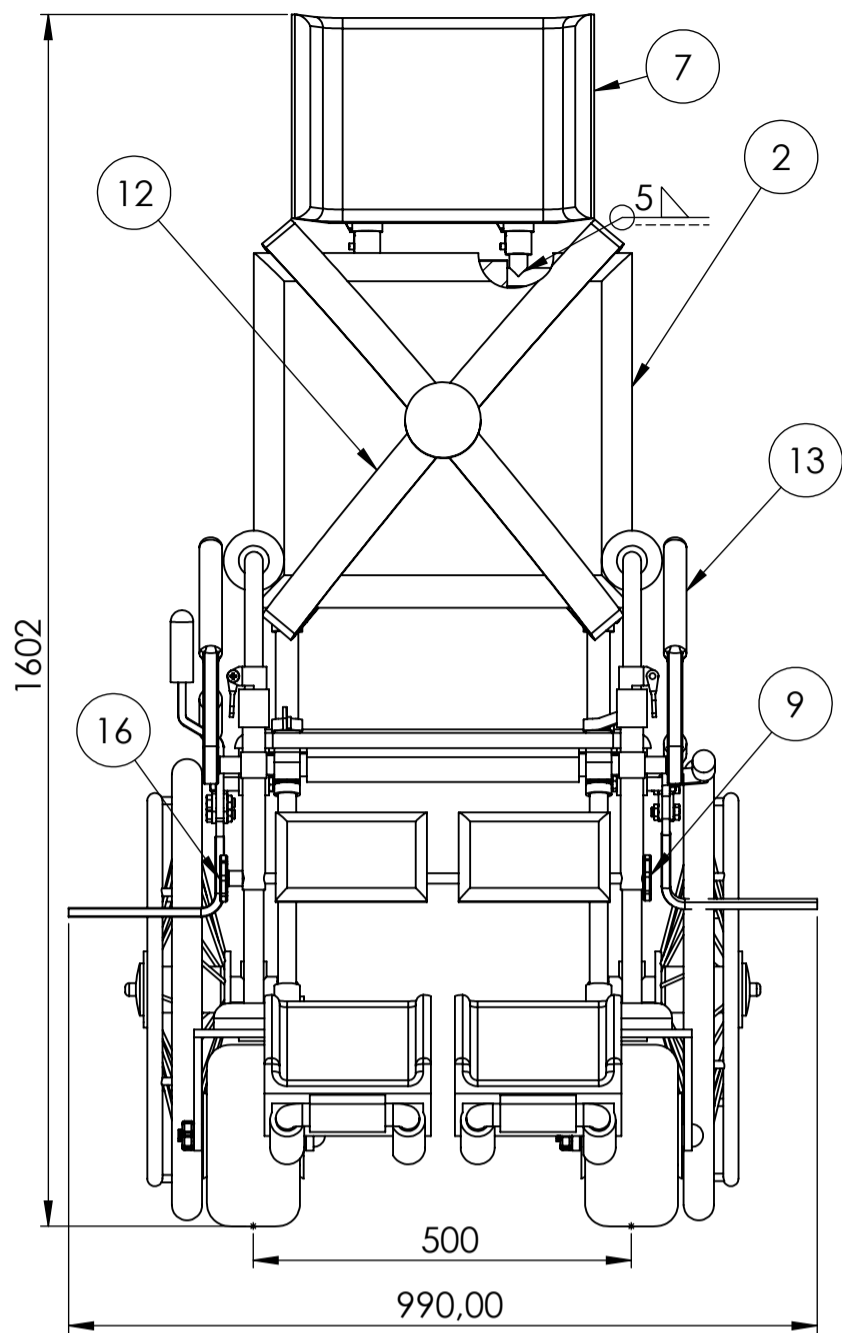


	Escala	Rúbrica	Data		
	1:2	Desenhou	25/11/2019		
Material: PVC	Projectou			Nome: Sara Pinto n.º 81521	
Tolerância Geral: ISO 2768-cL	Fabricou			Curso: MEMec	
Acabamentos:	Notas:			Tubo_Apoio_Pernas_1	
	Folha	Desenho n.º	Folha		
	A4	81521_01_03_01	1	0,11 kg	

1,6

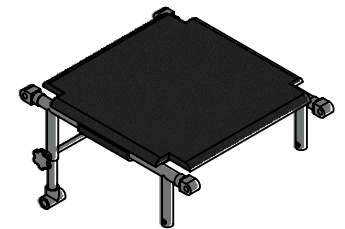
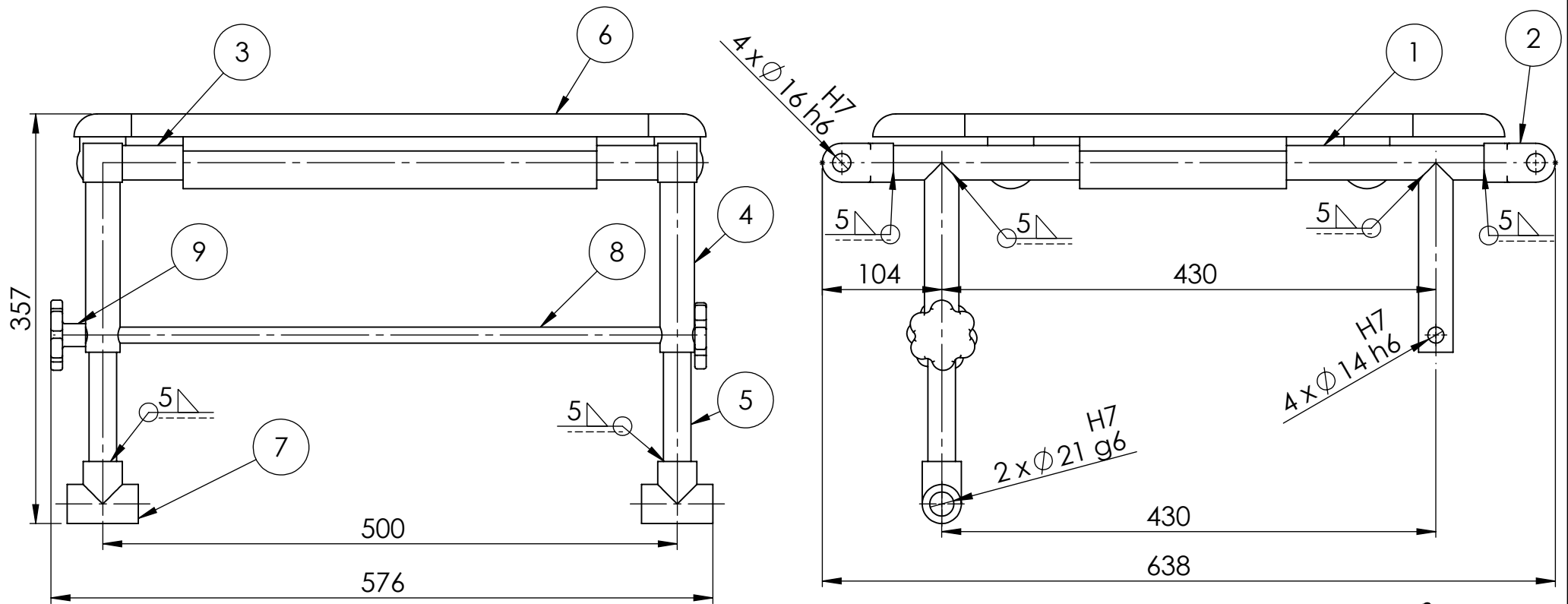


	Escala	Rúbrica	Data		
	1:2	Desenhou	23/11/2019		
Material:	Projectou	Fabricou	Nome: Sara Pinto		n.º 81521
AI 6061-T6	Notas:		Curso: MEMec		
Tolerância Geral:	<p style="text-align: center;">Tubo_Apoio_Pernas_3</p>				
ISO 2768-cL					Folha
Acabamentos:	A4	81521_01_03_02	1	0,18 kg	



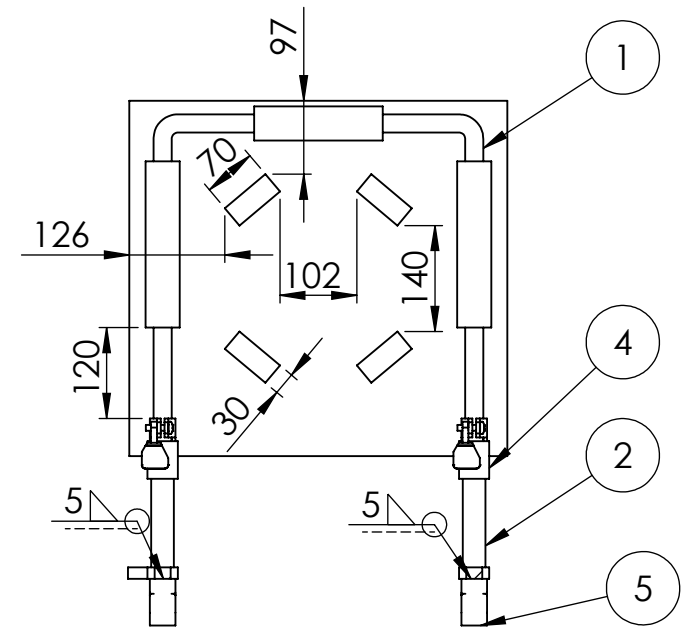
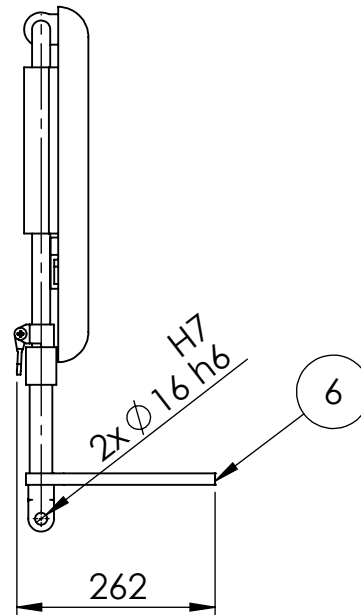
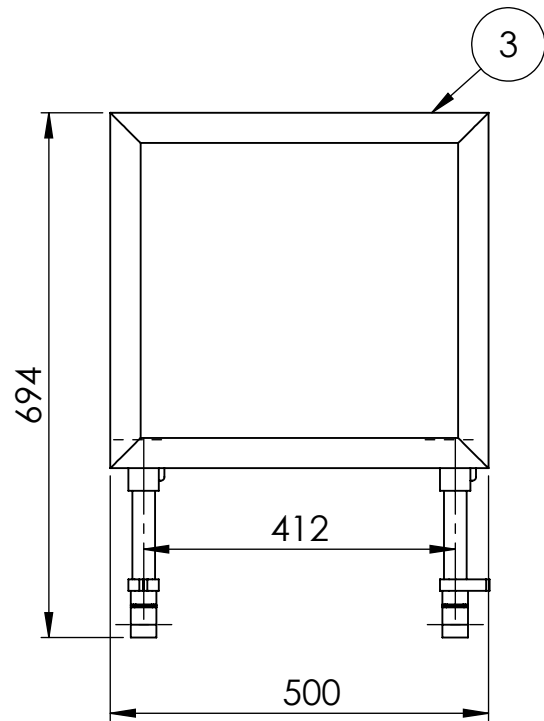
Nº	Designação	Qde	Material	Referência
1	Assento	1		81521_02_01
2	Costas	1		81521_02_02
3	Apoio_Perna_Esquerda	1		81521_02_03
4	Apoio_Perna_Direita	1		-----
5	Roda_2	2		-----
6	Rodízio	2		-----
7	Cabeça	1		81521_02_04
8	Tubo_Pernas_3	2	Al 6061-T6	-----
9	Tubo_Roscado_Ligação_1	1	Al 6061-T6	-----
10	Travão_Direito	1		-----
11	Travão_Esquerdo	1		-----
12	Cinto	1	Nylon	-----
13	Ajuste_Posição	4		81521_02_06
14	Braço	2		81521_02_05
15	Tubo_Proteção	1	Al 6061-T6	81521_02_07
16	Tubo_Roscado_Ligação_2	1	Al 6061-T6	-----
17	Tubo_Pega	1	Al 6061-T6	-----

	Escala 1:10	Rúbrica _____	Data 25/11/2019	
	Material: _____	Desenhou _____	Verificou _____	
Tolerância Gerat: ISO 2768-cL	Notas: _____			Cadeira_Pessoal_1
Acabamentos: _____	Folha A3	Desenho n.º 81521_02	Folha 1	

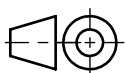



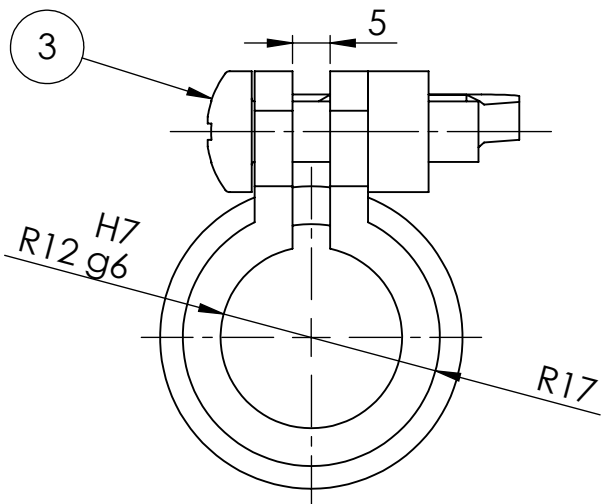
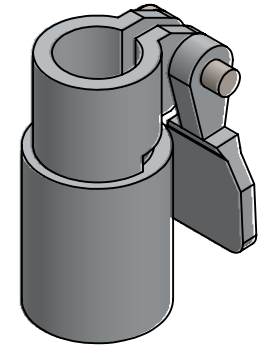
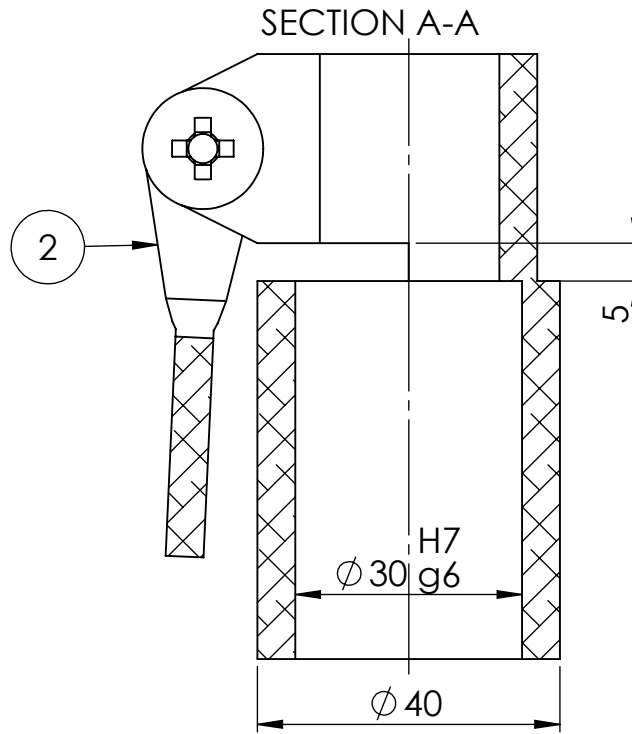
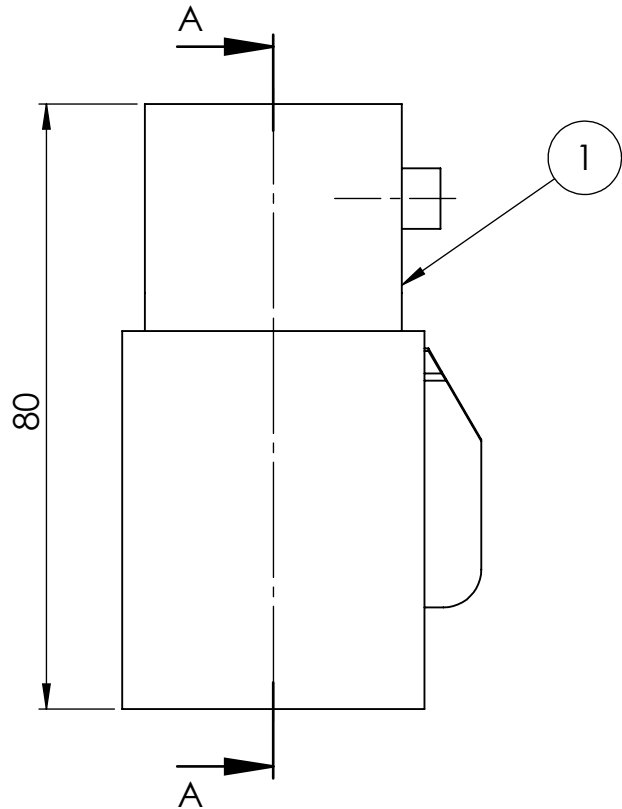
Nº	Designação	Qde	Material	Referência
1	Tubo_Assento_1	2	Al 6061-T6	-----
2	Peça_Ligação_1	4	Al 6061-T6	-----
3	Tubo_Assento_2	2	Al 6061-T6	-----
4	Tubo_Pernas_1	4	Al 6061-T6	-----
5	Tubo_Pernas_2	2	Al 6061-T6	-----
6	Colchão_Assento	1		-----
7	Peça_Ligação_2	2	Al 6061-T6	-----
8	Tubo_Roscado_Ligação_1	1	Al 6061-T6	-----
9	Tubo_Roscado_Ligação_2	1	Al 6061-T6	-----

Escala		Rúbrica	Data	TÉCNICO L.P. DE A.			
	1:5		25/11/2019	Nome: Sara Pinto n.º 81521			
	Material:			Curso: MEMec			
	Tolerância Geral:			Assento			
	ISO 2768-cL						
Acabamentos:				Folha	Desenho n.º	Folha	Peso:
				A4	81521_02_01	1	2,76 kg



Nº	Designação	Qde	Material	Referência
1	Tubo_Costas_1	1	Al 6061-T6	
2	Tubo_Costas_2	2	Al 6061-T6	
3	Colchão_Costas_1	1		
4	Ajuste_Tamanho	2		81521_02_02_01
5	Peça_Ligação_4	2	Al 6061-T6	81521_02_02_02
6	Fita_Puxar	2	Nylon	

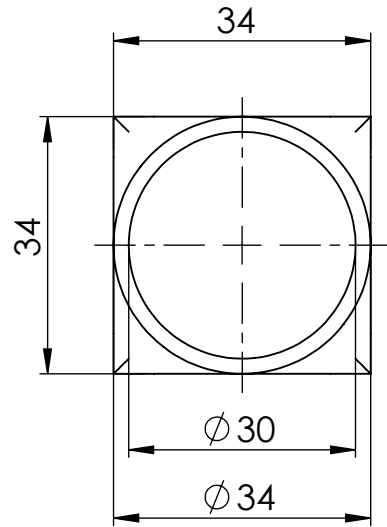
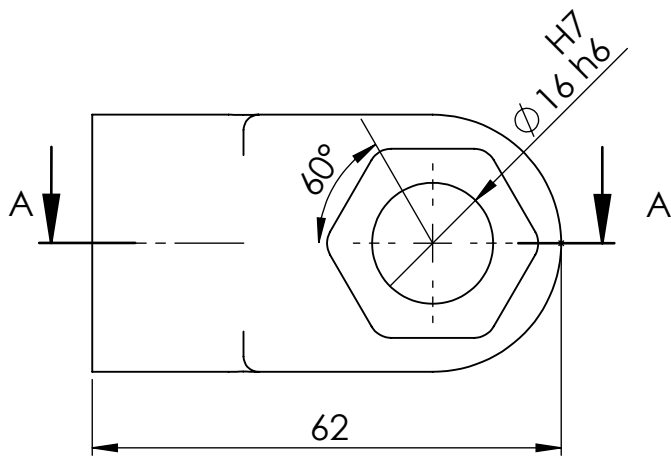
	Escala	1:10	Rúbrica	Data	
	Material:		Desenhou	25/11/2019	
Tolerância Geral: ISO 2768-cL	Acabamentos:		Verificou		Nome: Sara Pinto n.º 81521 Curso: MEMec
			Projectou		
			Fabricou		Costas
			Notas:		
					Folha A4 Desenho n.º 81521_02_02 Folha 1 Peso: 1,39 kg



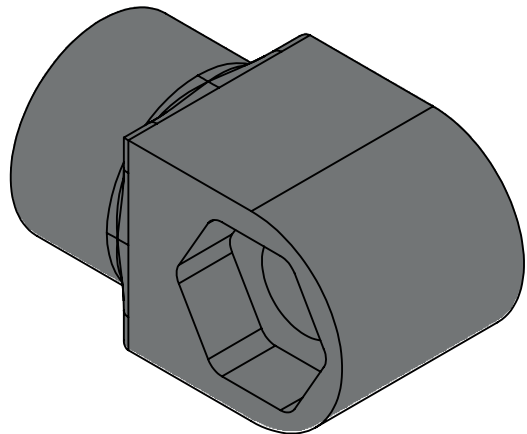
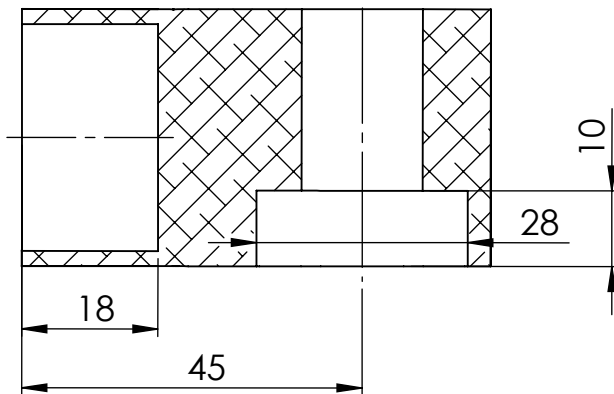
Nº	Designação	Qde	Material	Referência
1	Peça_Ajuste_Tamanho_1	1	Al 6061-T6	-----
2	Peça_Ajuste_Tamanho_2	1	Al 6061-T6	-----
3	pan head cross recess screw_iso	1		

	Escala	Rúbrica	Data	
	1:1		25/11/2019	
Material:	Projectou	Nome: Sara Pinto n.º 81521		
Tolerância Geral:	Fabricou	Curso: MEMec		
ISO 2768-cL	Notas:	<h2>Ajuste_Tamanho</h2>		
Acabamentos:				
Folha	Desenho n.º	Folha	Peso:	
A4	81521_02_02_01	1	0,05 kg	

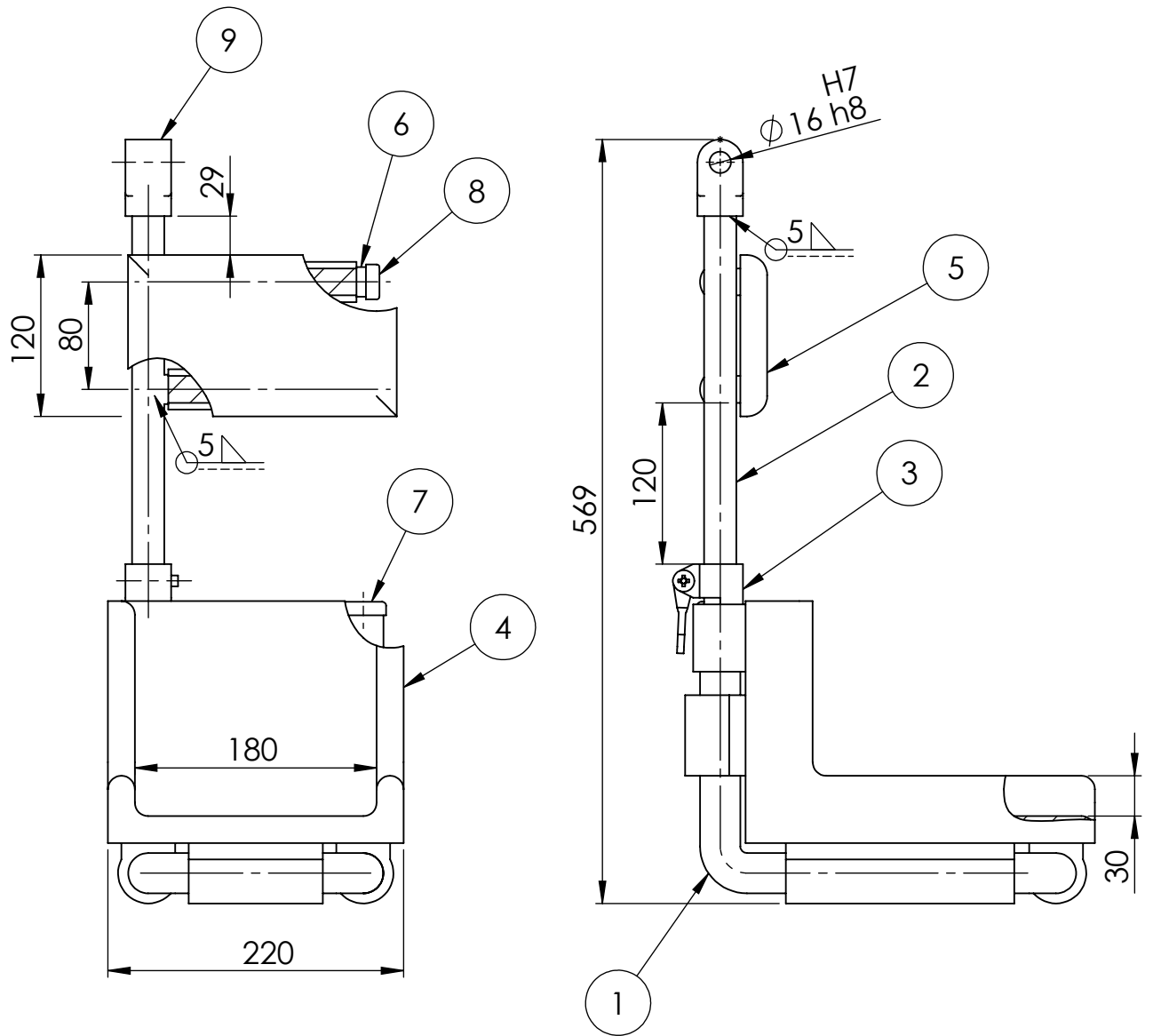
1,6/



SECTION A-A



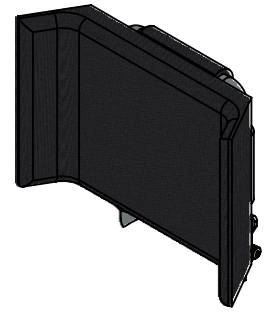
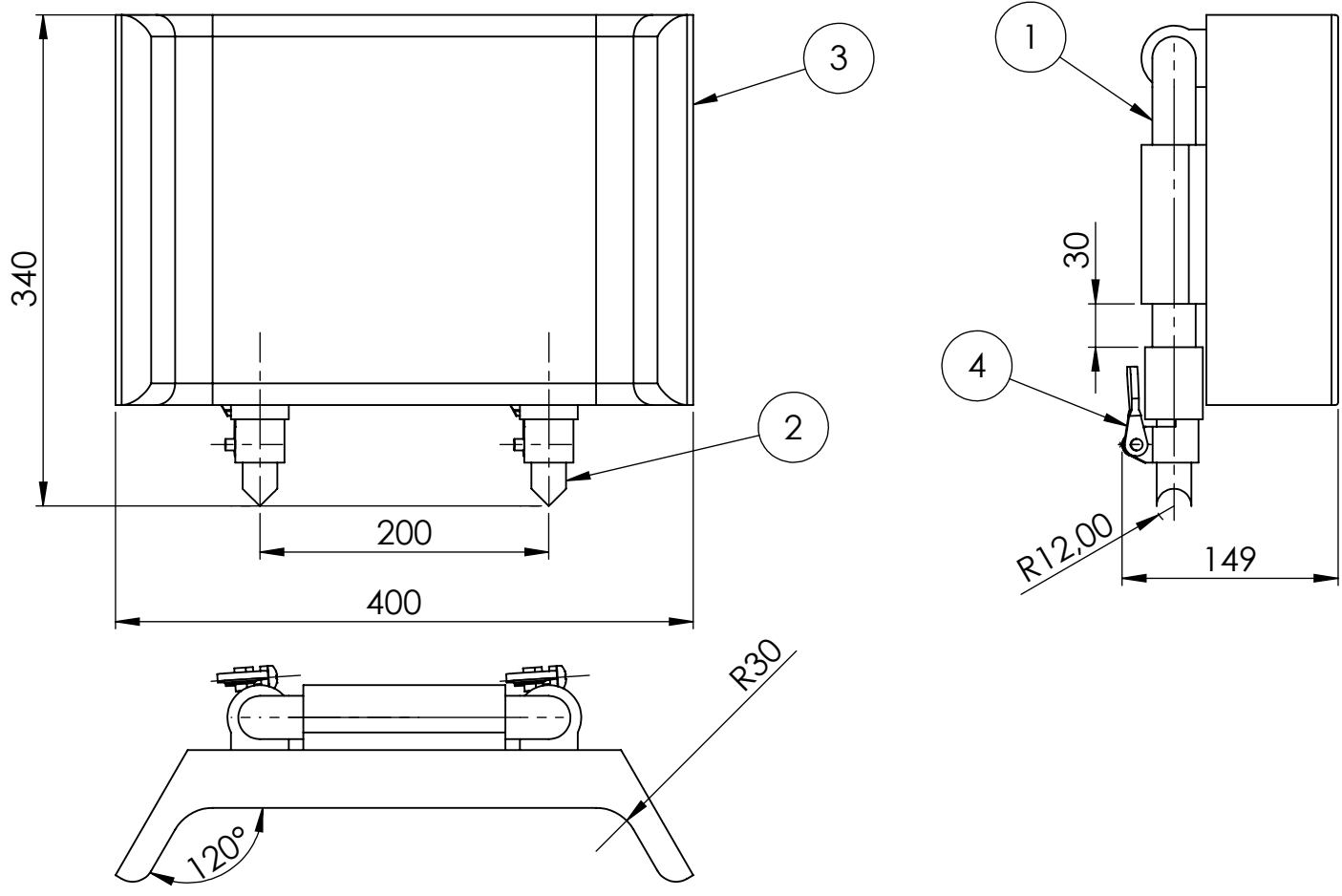
	Escala 1:1	Rúbrica _____	Data 25/11/2019		
	Material: Al 6061-T6	Desenhado _____	Verificado _____		
Tolerância Geral: ISO 2768-cL	Notas: _____			Peça_Ligação_4	
Acabamentos: _____					

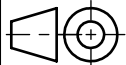



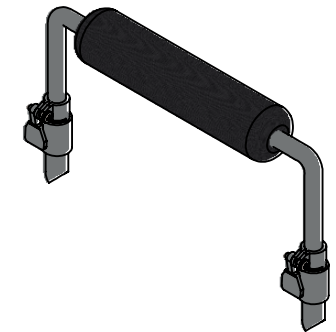
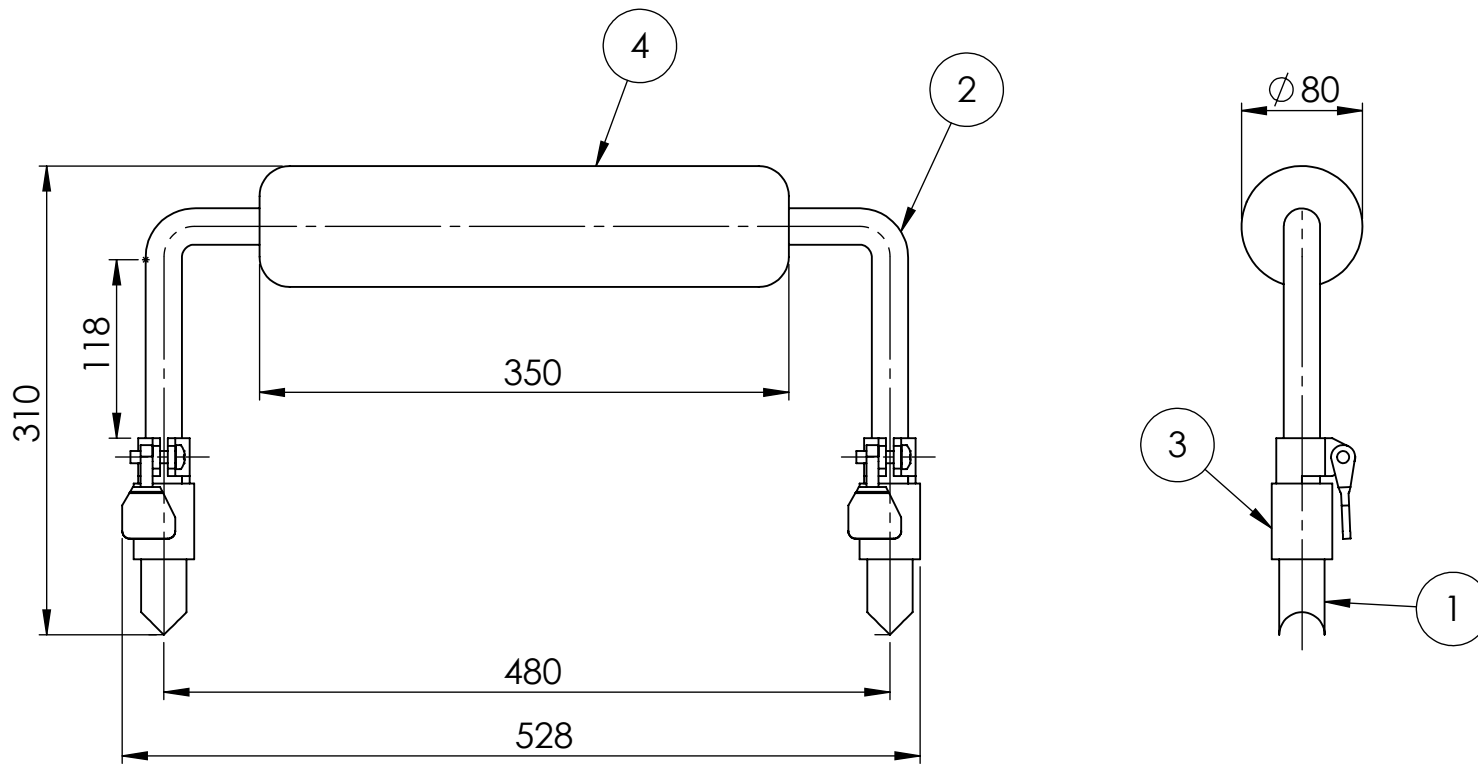
Nº	Designação	Qde	Material	Referência
1	Tubo_Apoio_Pernas_1	1	Al 6061-T6	-----
2	Tubo_Apoio_Pernas_2	1	Al 6061-T6	-----
3	Ajuste_Tamanho	1		81521_02_02_01
4	Colchão_Apoio_Pernas_1	1		-----
5	Colchão_Apoio_Pernas_2	1		-----
6	Tubo_Apoio_Pernas_3	2	Al 6061-T6	-----
7	Peça_Tampa_1	1	Al 6061-T6	-----
8	Peça_Tampa_2	2	Al 6061-T6	-----
9	Peça_Ligação_3	1	Al 6061-T6	-----


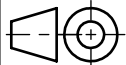
	Escala 1:5	Rúbrica _____	Data 25/11/2019
	Material: _____	Desenhou _____	Verificou _____
Tolerância Geral: ISO 2768-cl	Projectou _____	Fabricou _____	Notas: _____
Acabamentos: _____			

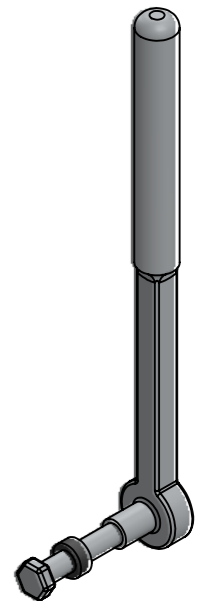
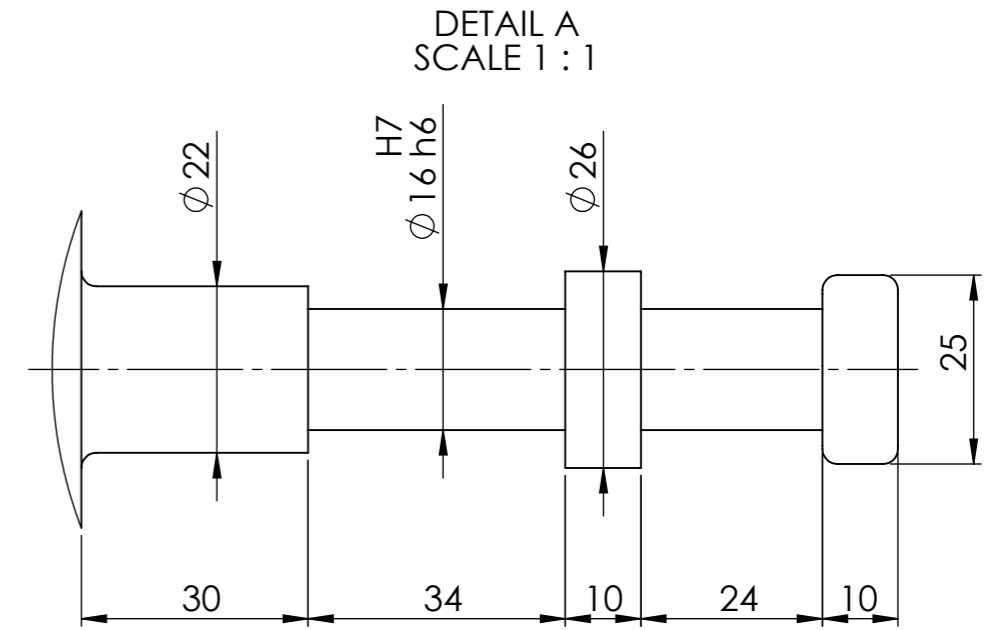
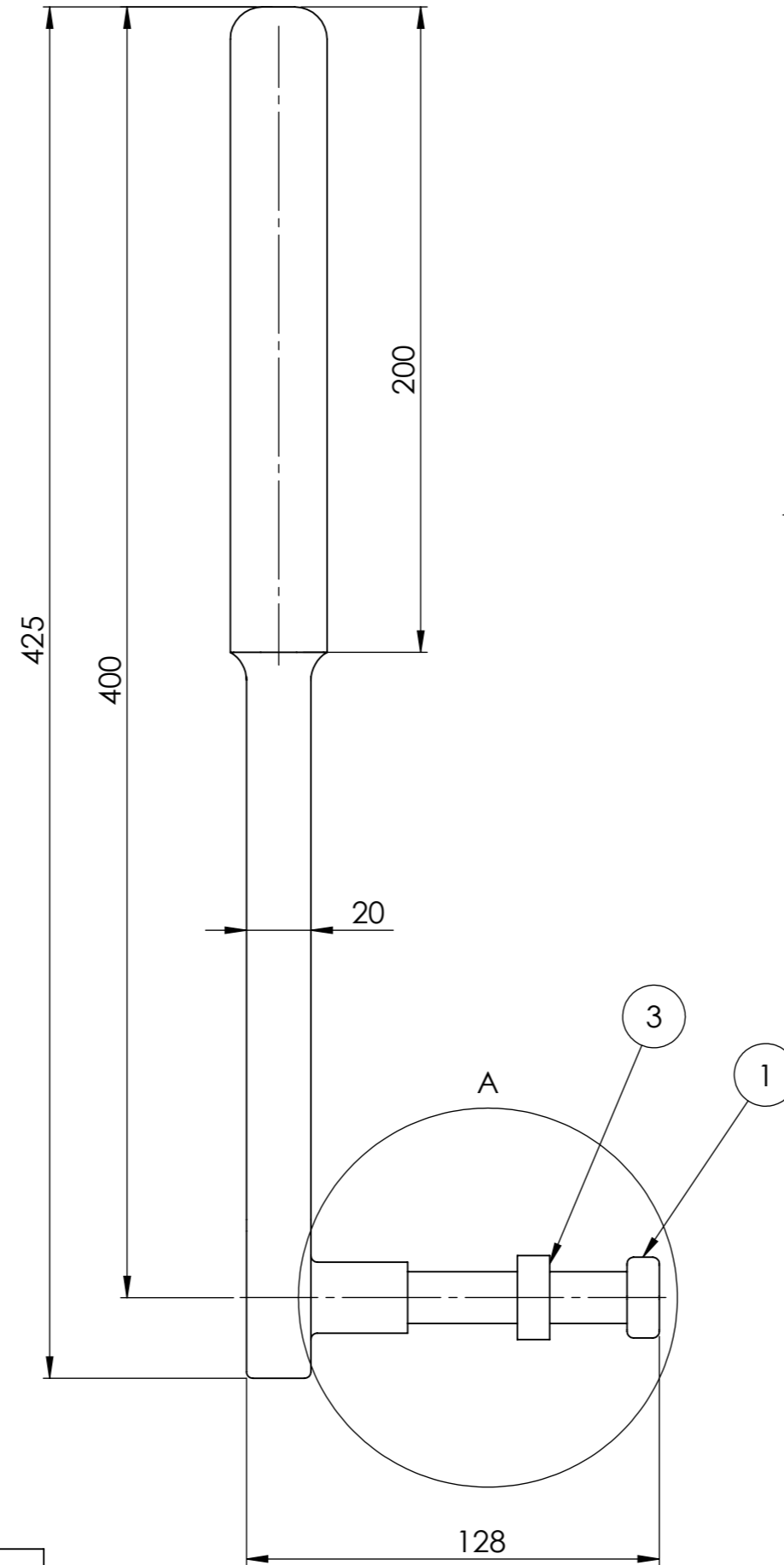
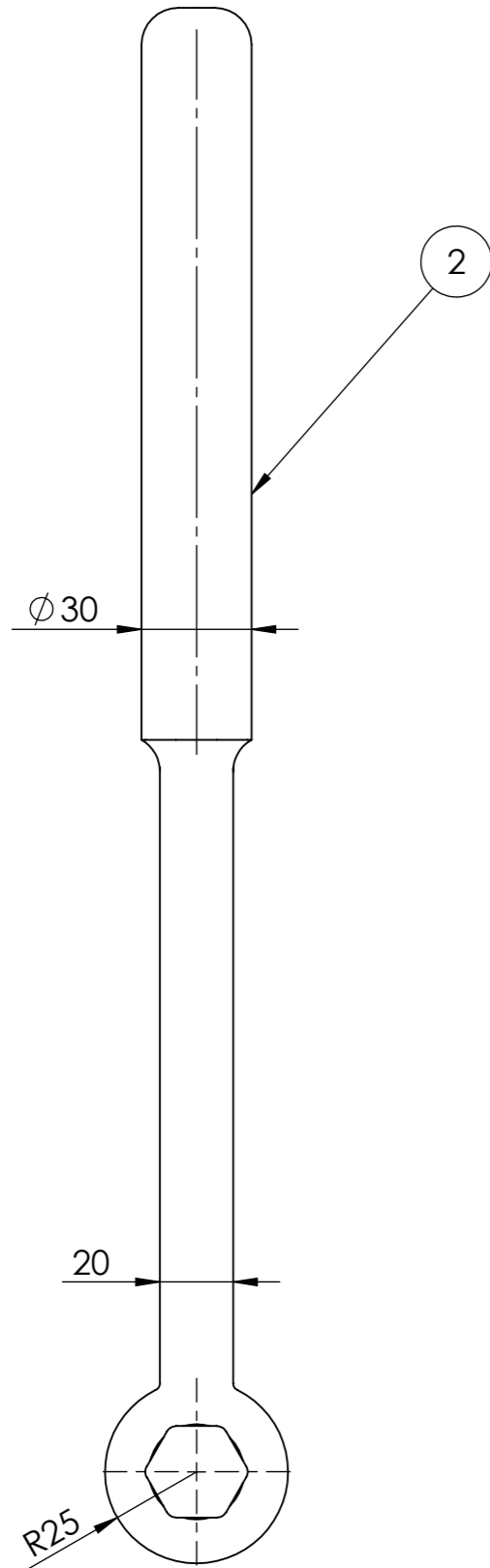
Nome: Sara Pinto	n.º 81521
Curso: MEMec	
Apoio_Perna_Esquerda	
Folha A4	Desenho n.º 81521_02_03
Folha 1	Peso: 1,09 kg



Nº	Designação	Qde	Material	Referência	 Escala 1:5	Rúbrica	Data	 Nome: Sara Pinto n.º 81521 Curso: MEMec			
1	Tubo_Cabeça_1	1	Al 6061-T6	-----	Tolerância Geral: ISO 2768-cL Acabamentos:	Verificou		Cabeça			
2	Tubo_Cabeça_2	2	Al 6061-T6	-----		Projectou					
3	Colchão_Cabeça_1	1		-----		Fabricou					
4	Ajuste_Tamanho	2		81521_02_02_01		Notas:					
								Folha	Desenho n.º	Folha	Peso:
								A4	81521_02_04	1	0,69 kg



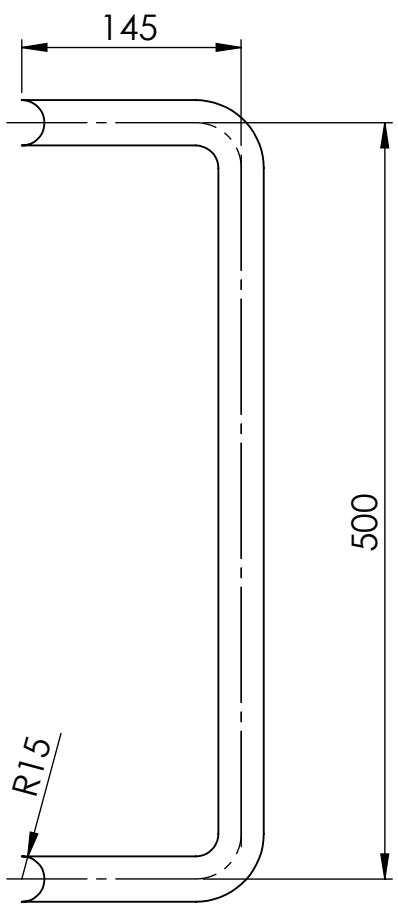
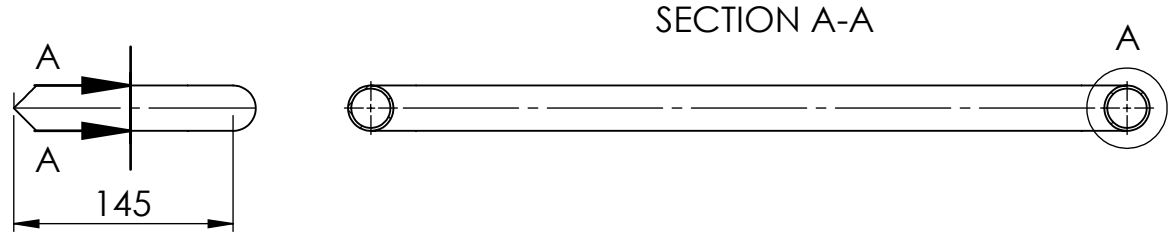
Nº	Designação	Qde	Material	Referência	Escala		Rúbrica	Data	 TÉCNICO LISBOA			
1	Tubo_Braços_1	2	Al 6061-T6	-----	 1:5			25/11/2019	Nome: Sara Pinto n.º 81521			
2	Tubo_Braços_2	1	Al 6061-T6	-----					Curso: MEMec			
3	Ajuste_Tamanho	2		81521_02_02_01	Tolerância Geral: ISO 2768-cL		Notas:		Braço			
4	Colchão_Braços	1		-----	Acabamentos:		Folha	Desenho n.º			Folha	Peso:
									A4	81521_02_05	1	0,70 kg



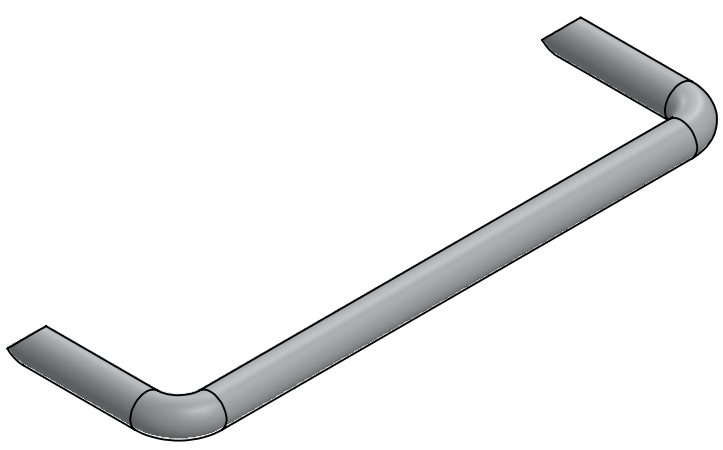
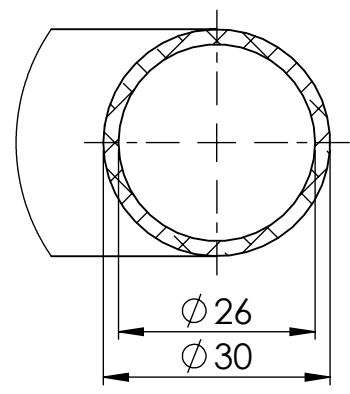
Nº	Designação	Qde	Material	Referência
1	Peça_Ajuste_Posição_2	1	Al 6061-T6	-----
2	Peça_Ajuste_Posição_1	1	Al 6061-T6	-----
3	Peça_Ajuste_Posição_3	1	Rubber	-----

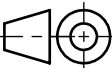

Escala		Rúbrica	Data	TECNICO		
	1:2	Desenhou	25/11/2019	Nome: Sara Pinto n.º 81521 Curso: MEMec		
		Verificou				
		Material:	Projectou		Ajuste_Posição	
Tolerância Geral:	Fabricou					
ISO 2768-cL	Notas:		Folha	Desenho n.º	Folha	Peso:
Acabamentos:			A3	81521_02_06	1	0,76 kg

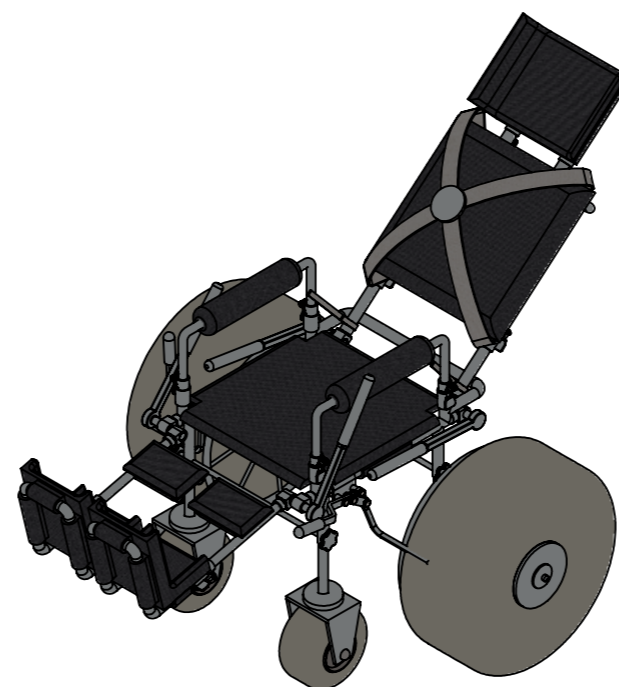
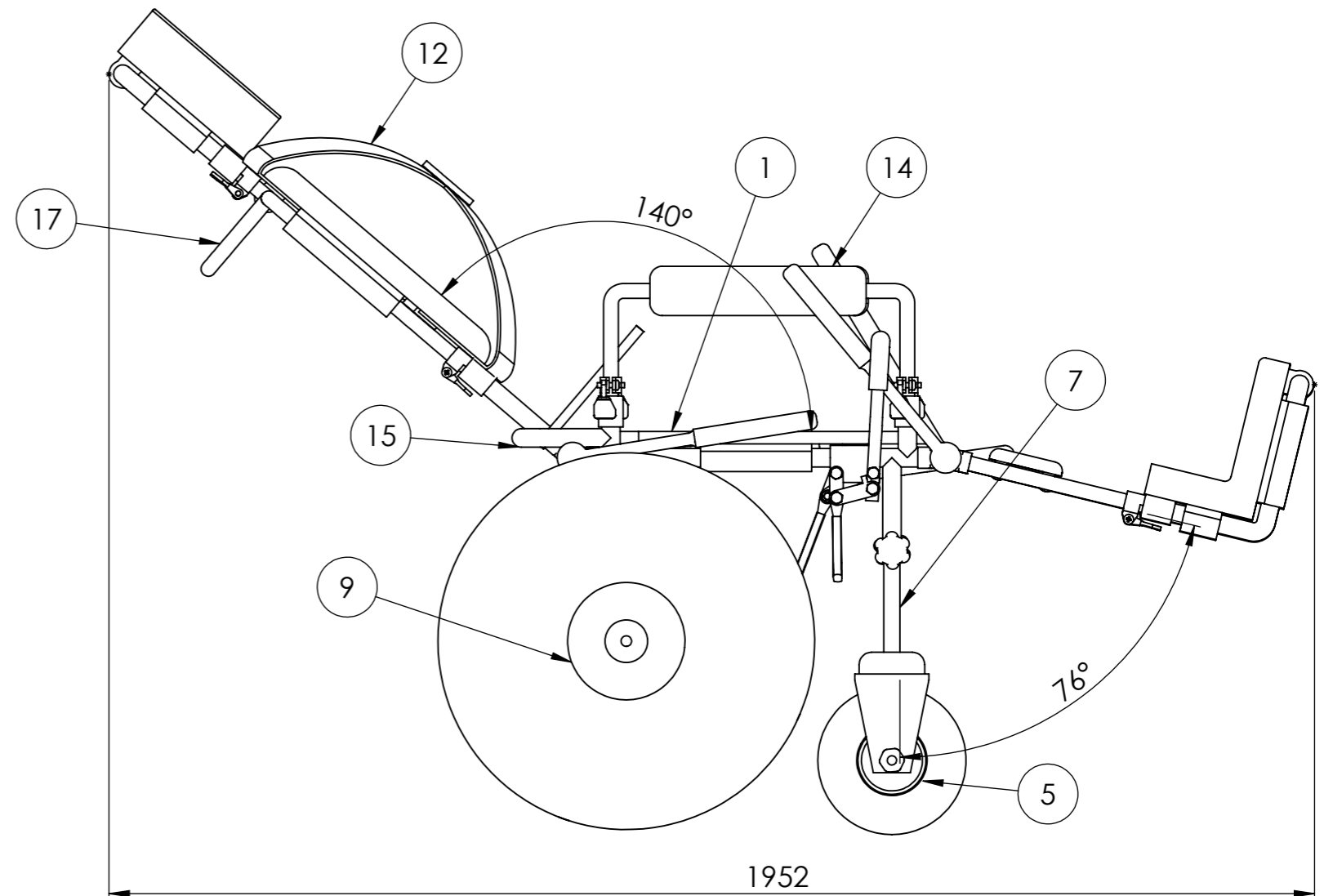
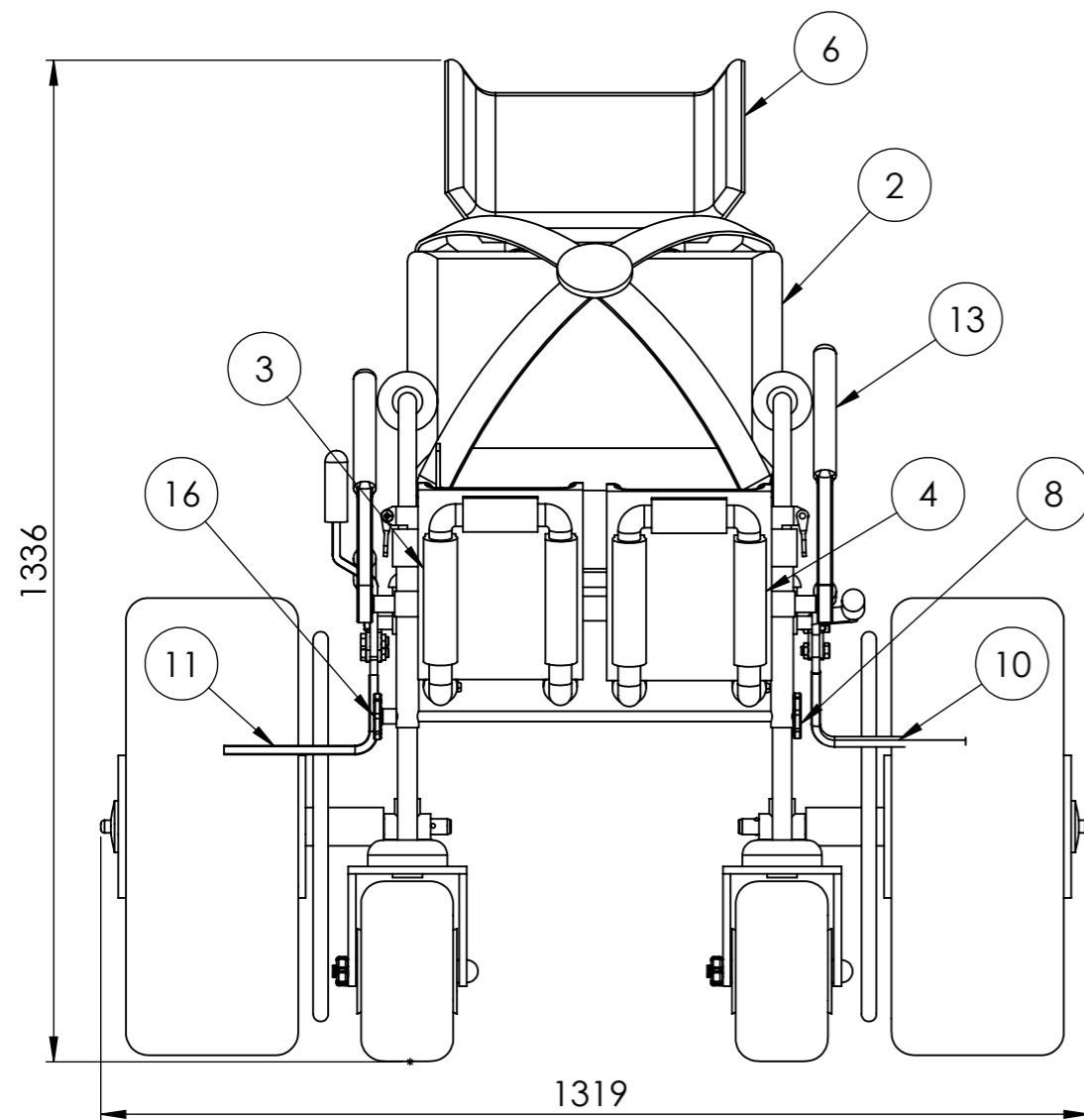
1,6/



DETAIL A
SCALE 1 : 1



	Escala	Rúbrica	Data		
	1:5	Desenhou	25/11/2019		
Material: Al 6061-T6	Projectou			Nome: Sara Pinto n.º 81521	
	Fabricou			Curso: MEMec	
Tolerância Geral: ISO 2768-cL	Notas:			<p style="text-align: center;">Tubo_Proteção</p>	
Acabamentos:					
	Folha	Desenho n.º	Folha	Peso:	
	A4	81521_02_07	1	0,37 kg	



Nº	Designação	Qde	Material	Referência
1	Assento	1		81521_02_01
2	Costas	1		81521_02_02
3	Apoio_Perna_Esquerda	1		81521_02_03
4	Apoio_Perna_Direita	1		-----
5	Rodízio	2		-----
6	Cabeça	1		81521_02_04
7	Tubo_Pernas_3	2	Al 6061-T6	-----
8	Tubo_Roscado_Ligação_1	1	Al 6061-T6	-----
9	Roda_1	2		-----
10	Travão_Esquerdo	1		-----
11	Travão_Direito	1		-----
12	Cinto	1	Nylon	-----
13	Ajuste_Posição	4		81521_02_06
14	Braço	2		81521_02_05
15	Tubo_Proteção	1	Al 6061-T6	-----
16	Tubo_Roscado_Ligação_2	1	Al 6061-T6	-----
17	Tubo_Pega	1	Al 6061-T6	-----

	Escala 1:10	Rúbrica _____	Data 25/11/2019	
	Material:	Desenhou _____	Verificou _____	
Tolerância Geral: ISO 2768-cL	Notas:			Cadeira_Pessoal_2
Acabamentos:	Folha A3	Desenho n.º 81521_03	Folha 1	