

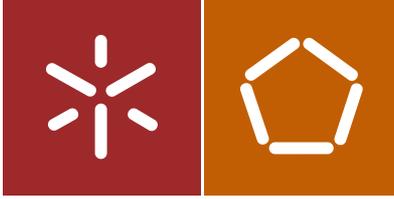


Filipa Raquel Magalhães Xavier

Processo de concepção e desenvolvimento
de produtos: Caso de estudo de um produto
específico

Universidade do Minho
Escola de Engenharia





Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Filipa Raquel Magalhães Xavier

Processo de concepção e desenvolvimento
de produtos: Caso de estudo de um produto
específico

Dissertação de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia de Polímeros

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor António José Vilela Pontes
Engenheiro Dário Silva Teixeira

Declaração

Nome: Filipa Raquel Magalhães Xavier

Endereço electrónico: raquelxavier723@gmail.com Telemóvel: 918933644

Número do Cartão de Cidadão: 14433473

Título da Tese: **Processo de concepção e desenvolvimento de produtos: caso de estudo de um produto específico.**

Orientador: Professor Doutor António José Vilela Pontes

Orientador da Empresa: Engenheiro Dário Silva Teixeira - EDINyourideas

Ano de conclusão: 2016

Designação do Mestrado:

Mestrado Integrado em Engenharia de Polímeros

Escola de Engenharia

Departamento de Engenharia de Polímeros

DE ACORDO COM A LEGISLAÇÃO EM VIGOR, NÃO É PERMITIDA A REPRODUÇÃO DE QUALQUER PARTE DESTA TESE/TRABALHO

Universidade do Minho, ___/___/___

Assinatura: _____



Agradecimentos

Muitas pessoas, directa ou indirectamente contribuíram para a concretização desta dissertação de mestrado. É então indispensável referir o meu agradecimento a todas essas pessoas que se mostraram disponíveis.

Em primeiro lugar quero expressar o meu agradecimento ao Engenheiro Dário Teixeira por me proporcionar esta oportunidade e por todo o conhecimento transmitido, bem como a toda a equipa da EDIN por o apoio, hospitalidade e companheirismo concedido durante a realização do projecto.

Queria também agradecer ao Professor Doutor António José Pontes por toda a orientação, aconselhamento e disponibilidade.

Aos meus amigos, que estiveram sempre presentes durante estes meses, pelas palavras de incentivo, pela amizade e por todo o companheirismo.

Por fim, mas não menos importante, o meu muito obrigada aos meus pais por me proporcionarem a concretização de tudo isto e a todo o resto da minha família pelas palavras de carinho e por toda a compreensão.

A todos que aqui foram referidos, e a outros que porventura não mencionei, mas que contribuíram também para a concretização deste projecto, os meus mais sinceros agradecimentos.



Resumo

A crescente exigência dos mercados obriga as empresas a investirem cada vez mais na inovação, quer dos produtos que desenvolvem, quer dos processos e metodologias utilizadas para os desenvolver. A presente tese de mestrado foi desenvolvida em ambiente industrial com a colaboração da empresa EDINyourideas e é uma continuidade do trabalho realizado durante o primeiro semestre na unidade curricular “Projecto individual”, que se baseou na identificação de uma oportunidade de produto e desenvolvimento de metodologias de processo.

O produto a desenvolver consiste num sistema alternativo, em plástico, de abertura de portas accionado pelo pé, destinado à aplicação em locais públicos, nomeadamente casas de banho (compartimento individual). Ao longos dos anos assistiu-se a um grande desenvolvimento no sentido de reduzir o contacto das mãos nesses locais, aumentando assim o nível de higiene, particularmente através de caixotes do lixo e autoclismos com sensores ou de pedal. No entanto esta redução do contacto é inútil quando os métodos de abertura de portas continuam rudimentares e recorrendo à utilização da mão.

O tema desta dissertação de mestrado baseia-se então na concepção e desenvolvimento desse produto. Contudo, é preciso ter em consideração que o desenvolvimento de peças, neste caso em plástico, é uma tarefa muito complexa que requer, além de uma vasta equipa, a intervenção simultânea de diversas áreas, bem como a consideração de aspectos essenciais ao projecto, de forma a obter um produto final esteticamente atraente, com boa funcionalidade, resistência mecânica e baixo custo de produção. Este trabalho é composto então por cinco fases principais: desenvolvimento preliminar do produto, projecto mecânico, optimização tecnológica, definição das tecnologias de transformação e avaliação económica ao projecto.

Em conclusão, pretende-se a obtenção de um produto que satisfaça da melhor forma possível as necessidades dos clientes, reduzindo assim o contacto das mãos com determinados objectos em locais públicos e por sua vez possíveis contaminações. Por outro lado, espera-se a criação de uma nova metodologia de desenvolvimento de novos produtos mais dinâmica e detalhada que possa servir de suporte na concepção de outros produtos e que vise, principalmente o aumento da qualidade, a diminuição do ciclo de desenvolvimento e a redução de custos.

Palavras chave: Desenvolvimento de novos produtos, novo produto, projecto de peças em plástico, sistema de abertura de portas accionado pelo pé.



Abstract

The increasing demands of the market, not only requires that companies invest more in the innovation of the products they develop, but also in the processes and methodologies involved in their creation. This dissertation was developed in an industrial environment in conjunction with the company “EDINyourideas” and deepens the work performed during the first semester, in the course “Projecto individual”, that consisted in the identification of a new product opportunity and development of methodologies of process.

The product that was developed, consists of a new system made of plastic, capable of opening doors using the foot, that is intended to be used in public places, more specifically, in public bathrooms. Over the years several solutions like the use of trash bins and toilet flushes that are operated by foot, were used to avoid the contact of human hands with that kind of surfaces, in an attempt to increase the overall hygiene in that kind of places. Unfortunately, the current use of rudimentary door opening mechanisms, that require hand contact, defeats the purpose of using more advanced solutions such as trash bins operated by foot.

The theme of this dissertation is then the conception and development of a product that permits opening doors using the foot only. It is necessary to be aware that the development of parts, in particular, plastic parts, is a very complex task that not only requires the consideration of the essential aspects of the project, but also requires taking into account several other aspects, namely, the necessity of using large teams and the multidisciplinary nature of this kind of projects, in order to obtain a final product that is functional, esthetically good, resistant and cheap to produce. This work is constituted by five main phases: preliminar product development, mechanical project, technological optimization, definition of the technologies of transformation and the economical evaluation of the project.

In conclusion, it is desired to obtain a product that satisfies the client needs the best way possible, reducing the contact of the client hands with certain objects in public places, avoiding that way possible contaminations derived of such contact. On the other side, it is expected a creation of a new product development methodology, more dynamic and detailed, which may serve as a support for development of other products, with the objectives of increasing the product quality, focused on client necessities, development cycle reduction and cost reduction.

Keywords: New product development, new product, plastic pieces’ project, plastic system to open the door, triggered by foot.



Índice

Agradecimentos	V
Resumo	vii
Abstract	ix
Lista de Siglas e Acrónimos	xiii
Lista de Símbolos	xiii
Índice de Figuras	xiv
Índice de Tabelas	xvi
Capítulo I - Introdução	1
1. Enquadramento	3
2. Motivação	4
3. Objectivos	4
4. Organização da dissertação	5
Capítulo II - Estado da arte	11
1. Enquadramento	13
2. Sistemas mecânicos de abertura de portas em casas de banho publicas	13
3. Desenvolvimento de novos produtos e utilização de metodologias de processo	17
4. Projecto de peças em plástico: requisitos e considerações	18
4.1. Requisitos no projecto com plásticos	19
4.2. Selecção da técnica de processamento adequada	22
4.3. Selecção do material: escolha correcta	25
4.4. Considerações gerais no projecto das peças plásticas injectadas	26
4.5. Localização do ponto de injeção	32
Capítulo III- Desenvolvimento preliminar do produto	35
1. Funcionalidade e especificações preliminares do produto	37
2. Conceito de <i>Design</i>	39
2.1. Conceitos iniciais: geração de conceitos	39
2.2. Selecção do Conceito final	39
Capítulo IV - Projecto mecânico	44
1. Solução construtiva: desenvolvimento do conceito	46
1.1. Identificação dos Componentes	48
2. Definição da técnica de processamento, especificações e selecção de materiais	54
2.1. Pedal 1/Pedal 2	56



2.2. Base	60
2.3. Cilindros	64
3. Dimensionamento mecânico	66
1.1. Pedal 1	70
1.2. Pedal 2	77
1.3. Base	80
1.4. Considerações finais	84
4. Modelação 3D	86
4.1. Pedal 1	87
4.2. Pedal 2	88
4.3. Base	89
5. Modelação 2D	90
5.1. Pedal 1	91
5.2. Pedal 2	92
5.3. Base	93
Capitulo V - Optimização tecnológica	94
1. Simulações de enchimento	96
1.1. Preparação do modelo para análise	98
1.2. Análise dos componentes e apresentação dos resultados	101
Capitulo VI- Tecnologias de transformação e Análise económica	136
1. Definição conceptual do molde	138
1.1. Pedal 1/Pedal 2	138
1.2. Base	139
1.3. Cilindros	140
2. Análise económica	141
2.1. Custos dos componentes adquiridos externamente	142
2.2. Custos dos componentes projectados	143
2.3. Custo final do produto	144
Capitulo VII - Conclusões	146
1. Conclusão	148
2. Sugestões para trabalhos futuros	149
Anexos	152
Anexo 9- Expressões utilizadas no dimensionamento teórico	167
Referências Bibliográficas	171



Lista de Siglas e Acrónimos

DNP – Desenvolvimento de novos produtos

PA - Poliamida

PP – Polipropileno

SAN – Acrilonitrilo estireno

PE- Polietileno

PA 66 GF 30 % - Poliamida 66 com 30% de fibras de vidro

POM- Polioximetileno (Poliacetal ou Acetal)

A= área

h=espessura

L= comprimento

b= largura

Lista de Símbolos

y= deflexão

x= coordenada do centróide da área

w= carga distribuída

C.S. - coeficiente de segurança

M= Momento flector

E= Modulo de elasticidade

I= Momento de inercia

x_m - ponto médio

P – Carga

σ – Tensão norma



Índice de Figuras

Figura 1- Metodologia de processo para o desenvolvimento de novos produtos.....	9
Figura 2- Maçaneta tradicional.....	15
Figura 3- Exemplos de “Trincos de porta”.....	15
Figura 4- Conceito de Sistema de abertura de porta Auto esterilizante.....	16
Figura 5- Maçaneta de braço.....	16
Figura 6- Puxador de pé.....	16
Figura 7- <i>Foot latch</i>	17
Figura 8- Considerações da espessura de paredes de peças plásticas: formas e geometrias ideais	28
Figura 9- Dimensionamento de nervuras.....	29
Figura 10- Raios de curvatura: a) atribuição dos raios na parte interna e externa da peça. b) transição gradual entre secções de parede grossa e fina através da atribuição de raios de curvatura.....	31
Figura 11- Desenho correcto dos castelos: conexão às paredes da peça.....	32
Figura 12- Conceito seleccionado.....	42
Figura 13- Solução construtiva para o sistema de abertura de portas accionado pelo pé.....	47
Figura 14 – Mecanismo “ <i>click</i> ”: parte existente na base que permite este mecanismo.....	48
Figura 15- Sistema: Pedal.....	48
Figura 16 – Sistema de abertura/fecho da porta.....	50
Figura 17- Sistema de trancamento.....	52
Figura 18- Processo de selecção de materiais utilizado para o sistema de abertura de portas alternativo.....	55
Figura 19- Esboço do componente 1 e respectivas dimensões iniciais.....	70
Figura 20- a) Análise da deformação do componente pedal 1. b) Vinculo do componente e divisão em secções: aumento da espessura mínima necessária para os diferentes comprimentos de secção.....	71
Figura 21- Interações do pedal 1: a) Fixações b) Forças externas.....	72
Figura 22- Malha gerada.....	73
Figura 23- Gráfico da Distribuição de tensões no pedal 1 com 5,2 mm de espessura.....	74
Figura 24- Gráfico dos deslocamentos ocorridos nas diferentes secções do pedal 1.....	75
Figura 25- Optimização do pedal 1: Nervuras acrescentadas ao componente.....	76
Figura 26 - Esboço do componente 2 e respectivas dimensões iniciais.....	77
Figura 27- Gráfico da Distribuição de tensões no pedal 2.....	78
Figura 28- Gráfico dos deslocamentos ocorridos nas diferentes secções do pedal 2.....	79
Figura 29 – Optimização do pedal 2- Nervuras acrescentas ao componente.....	80
Figura 30 - Esboço do componente 3 e respectivas dimensões iniciais.....	81
Figura 31- Esquema da situação mecânica da base.....	81
Figura 32- Gráfico da Distribuição de tensões na base.....	83
Figura 33- Gráficos dos deslocamentos na base.....	83
Figura 34- Optimização da base.....	84
Figura 35 - Fluxograma do processo utilizado para o dimensionamento de um componente.....	86
Figura 36-Modelação 3D do pedal 1: considerações de projecto.....	87
Figura 37- Modelação 3D do pedal 2: considerações de projecto.....	88
Figura 38- Modelação 3D do pedal 2: considerações de projecto.....	89



Figura 39- Modelação 2D para o pedal 1	91
Figura 40- Modelação 2D para o pedal 2	92
Figura 41- Modelação 2D para a base.	93
Figura 42 – Exemplo dos resultados estatísticos de uma malha gerada para um componente antes e depois de ser corrigida, respectivamente.	99
Figura 43- Exemplo da reformulação das condições de processamento.....	100
Figura 44 – Simulação da previsão do ponto de injeção para o pedal 1: a)- Gráfico da resistência ao fluxo b)- Localização ideal para o ponto de injeção.....	102
Figura 45- Pontos de retenção de ar no pedal 1	102
Figura 46- Linhas de soldadura presentes no pedal 1.	103
Figura 47- Tempo de enchimento na moldagem do pedal 1.	104
Figura 48- Tempo necessário para atingir a temperatura de eiecção.	105
Figura 49- Temperaturas na frente do fundido no pedal 1.	106
Figura 50- Taxas de corte presentes no pedal 1.	107
Figura 51- Pressão de injeção no pedal 1.....	107
Figura 52- Força de fecho para o pedal 1.	108
Figura 53- Previsão de aparecimento de chupados no processo de moldação por injeção do pedal 1.	109
Figura 54- Deflexão causada pela contracção no eixo dos zz.	109
Figura 55- Deflexão causada pela contracção: a) no eixo dos xx. b) no eixo dos yy.	110
Figura 56- Deflexão causada pela orientação do material no eixo dos zz.....	111
Figura 57 – Deflexão causada pelos efeitos de canto no eixo dos zz.	111
Figura 58 - Deflexão causada pela orientação do material: a) no eixo dos xx. b) no eixo dos yy.....	112
Figura 59- Deflexão causada pelos efeitos de canto: a) no eixo dos xx. b) no eixo dos yy.....	112
Figura 60 - Simulação da previsão do ponto de injeção para o pedal 1: a)- Gráfico da resistência ao fluxo b)- Localização ideal para o ponto de injeção.....	113
Figura 61 – Pontos de retenção de ar no pedal 2.....	114
Figura 62- Linhas de junta do componente pedal 2.	114
Figura 63 –Tempo de enchimento na moldação do pedal 2	115
Figura 64- Tempo necessário para que o pedal 2 atinja a temperatura de eiecção.	116
Figura 65- Temperatura na frente do fundido no pedal 2.....	116
Figura 66- Taxas de corte presentes no pedal 2.	117
Figura 67- Pressão de injeção no pedal 2.....	118
Figura 68- Força de fecho necessária para o pedal 2.....	118
Figura 69 – Previsão da localização dos chupados no pedal 2.....	119
Figura 70- Deflexão causada pela contracção no eixo dos zz.	120
Figura 71- Deflexão causada pela contracção a) no eixo dos xx. b) no eixo dos yy	120
Figura 72- Deflexão causada pela orientação do material no eixo dos zz.....	121
Figura 73- Deflexão causada pela orientação a) no eixo dos xx. b) no eixo dos yy	121
Figura 74- Deflexão causada pelo efeito de canto no eixo dos zz.	122
Figura 75 - Deflexão causada pelos efeitos de canto a) no eixo dos xx. b) no eixo dos yy.....	123
Figura 76- Simulação da previsão do ponto de injeção para o pedal 1: a)- Gráfico da resistência ao fluxo b)- Localização ideal para o ponto de injeção.....	124
Figura 77 - Pontos de retenção de ar na base.	124
Figura 78 - Linhas de soldadura presentes na base.	125
Figura 79 – Tempo de enchimento na moldagem da base.	126



Figura 80 - Tempo necessário para atingir a temperatura de ejeção.	126
Figura 81- Temperatura na frente do fundido na base.....	127
Figura 82- Taxas de cote presentes na base.	128
Figura 83- Pressão de injeção na base.....	128
Figura 84 – Força de fecho para a base.	129
Figura 85 - Previsão da localização dos chupados no pedal 2.....	130
Figura 86 – Deflexão causada pela contracção no eixo dos zz.	131
Figura 87 - Deflexão causada pelos efeitos de canto a) no eixo dos xx. b) no eixo dos yy.....	131
Figura 88 – Deflexão causada pela orientação do material no eixo dos zz.....	132
Figura 89- Deflexão causada pela orientação do material a) no eixo dos xx. b) no eixo dos yy.....	133
Figura 90 – Deflexão causada pelos efeito de canto no eixo dos zz.	133
Figura 91- Deflexão causada pela orientação do material a) no eixo dos xx. b) no eixo dos yy.....	134
Figura 92- Distribuição dos 2 componentes na placa das cavidades/buchas.	139
Figura 93 – Nova metodologia de processo resultante do desenvolvimento de um produto específico..	149

Índice de Tabelas

Tabela 1- Alguns requisitos a ter em conta no projecto de peças em plástico.....	20
Tabela 2- Comparação de propriedades de materiais termoplásticos.	25
Tabela 3 – Matriz de decisão utilizando o método de selecção de conceitos de Pugh: Triagem de conceitos.	40
Tabela 4- Matriz de selecção de conceitos.	41
Tabela 5 – Lista de componentes projectados para o sistema de pedal.....	49
Tabela 6 – Lista de componentes adquiridos para o sistema de pedal.	49
Tabela 7 – Lista de componentes adquiridos para o sistema de fecho/abertura.	51
Tabela 8- Lista de componentes projectados para o sistema de trancamento.	53
Tabela 9 - Lista de componentes adquiridos para o sistema de trancamento.	53
Tabela 10- Matriz de ponderação das especificações para a selecção do material do pedal 1 e 2.....	58
Tabela 11- Comparação dos materiais utilizados nos produtos já existentes.	59
Tabela 12 - Matriz de ponderação das especificações para a selecção do material da Base.	62
Tabela 13 - Comparação dos materiais utilizados nos produtos já existentes.	63
Tabela 14 – Matriz de ponderação das especificações para a selecção do material da Base.....	65
Tabela 15- Dimensões das respectivas placas e respectiva ilustração do molde para o pedal 1 e 2.	139
Tabela 16- Dimensões das respectivas placas e respectiva ilustração do molde para a Base.	140
Tabela 17 - Dimensões das respectivas placas, custo e respectiva ilustração do molde para os cilindros.	141
Tabela 18 – Preço de cada um dos componentes adquiridos externamente.	142
Tabela 19- Preço de produção por componente.	143
Tabela 20- Preço de produção por componente.	143

Capitulo I - Introdução



1. Enquadramento

O presente trabalho foi desenvolvido no âmbito da unidade curricular “Dissertação em Engenharia de Polímeros” do plano de estudos do Mestrado Integrado em Engenharia de Polímeros, em ambiente industrial com a colaboração da empresa EDINyourideas, doravante designada por EDIN.

Fundada em 2013 e sediada em Guimarães, assume-se como um estúdio de Design/Engenharia de produto, que fornece serviços integrados de *design*, engenharia e industrialização de produtos, essencialmente plásticos, com o principal objectivo de contribuir para a inovação e desenvolvimento destes materiais, resolvendo com a sua metodologia, os problemas de desenvolvimento de produto dos seus clientes.

Uma das tarefas mais nobres de um engenheiro é a criação de novos produtos que contribuam para o bem-estar da sociedade e que satisfaçam todas as suas necessidades. Este processo debate desde a identificação da necessidade de cada novo produto até à sua entrada em produção, denominando-se de projecto. O processo de desenvolvimento de novos produtos engloba etapas como, definição do produto e das especificações a que este deve obedecer, selecção da técnica de processamento e dos materiais a utilizar, modelação (2D e 3D), optimização, realização de protótipos e testes. De maneira a que a actividade de projectar seja eficiente, importa que todas as etapas que a constituem sejam consideradas e abordadas de uma forma metódica, podendo ser apoiadas por metodologias de processo que permitam a obtenção de um projecto mais eficiente.

Da inserção neste ambiente industrial, com início no primeiro semestre do presente ano lectivo para a concretização da unidade curricular “Projecto individual”, surgiu a ideia de desenvolver um sistema de abertura de portas alternativo accionado pelo pé, em plástico, que substituísse os sistemas de abertura manuais existentes actualmente neste tipo de locais que requerem o contacto da mão, diminuindo assim o nível de higiene. Para além disso surge também a oportunidade de incorporação de materiais plásticos, de forma a perceber que tipo de vantagens existem na substituição dos materiais já utilizados por materiais poliméricos. Os resultados deste trabalho desenvolvido no primeiro semestre, despontou a chance de, durante a realização da dissertação de mestrado, aprofundar esta oportunidade de produto e desenvolvê-la até estar preparado para produção, podendo vir a ser uma mais valia para o mercado.



2. Motivação

Uma das maiores dificuldades que as empresas enfrentam com os seus produtos é a da sua permanência no mercado, uma vez que a competição entre as empresas é cada vez mais intensa, sendo necessário o desenvolvimento de produtos inovadores e de qualidade num curto espaço de tempo. Por outro lado, os clientes são cada vez mais exigentes, em parte, devido ao aumento da variedade de produtos ao seu dispor. Por essa razão, as empresas são obrigadas a tornar-se mais competitivas, procurando inovar, ao desenvolver novos produtos ou simplesmente aumentando o valor dos seus produtos para o mercado.

Para além disso o projecto de peças em plástico é um processo que exige um maior controlo, uma vez que estes são materiais, na sua generalidade com propriedades, nomeadamente mecânicas, inferiores à dos outros materiais. No entanto os plásticos podem trazer muitas outras vantagens. A obtenção de um produto em plástico, que consiga satisfazer as necessidades e especificações da mesma forma que um mesmo produto feito em outro material, é um processo desafiante, que exige o seguimento de uma metodologia e a consideração de determinadas regras de projecto, conjugadas com um espírito crítico e inovador.

3. Objectivos

A dissertação de mestrado desenvolvida em ambiente industrial, tem como principal objectivo o desenvolvimento de um sistema de abertura de portas alternativo accionado pelo pé destinado a espaços públicos (ex. casas de banho publicas, ambientes hospitalares e/ou ambientes industriais), usando materiais poliméricos, a fim de substituir os mecanismos tradicionais de abertura de portas, maioritariamente em metal, como a maçaneta tradicional, puxador, o trinco, etc. Deve ter um custo de produção competitivo e apresentar uma geometria estética atraente, de fácil utilização. Por outro lado, resultante do acompanhamento de todo este processo, pretende-se a obtenção de uma metodologia própria de desenvolvimento de novos produtos, que possa servir de suporte no desenvolvimento de outros produtos, tanto dentro da empresa colaboradora, como noutras organizações.

- Geração, análise e selecção de conceitos de estilo mais adequados;



- Definição do produto, tendo por base o conceito de estilo (*design*) e desenvolvimento da solução construtiva para o sistema de abertura de portas, elucidando todos os componentes em plástico a projectar com recurso à modelação (2D e 3D) no software *SolidWorks*;
- Dimensionamento dos componentes, de forma a suportar determinadas solicitações mecânicas e/ou condições ambientais e cumprir com os requisitos;
- Optimização dos componentes, com recurso ao software de simulação de enchimento *Moldflow*, que permitam a obtenção de um produto eficiente;
- Tecnologia de transformação: Projecto do molde, definição conceptual do molde e definição dos equipamentos necessários;
- Análise económica do projecto;
- Prototipagem: Realização de protótipos;
- Obtenção de uma metodologia própria de desenvolvimento de novos produtos.

4. Organização da dissertação

Nesta secção apresenta-se uma breve descrição do conteúdo abordado em cada capítulo desta dissertação. O Capítulo 1 apresenta uma introdução ao trabalho, os principais objectivos e a estratégia utilizada para os alcançar. No Capítulo 2 apresenta-se o estado da arte feito durante toda a duração do trabalho, sendo que, numa fase inicial é apresentado um *benchmarking* do produto, de forma a perceber que tipo de soluções mecânicas já existem para a abertura de portas neste tipo de locais, que possam ou não, ter sido pensadas para reduzir a transmissão de bactérias. Ainda dentro deste capítulo é realçada a importância de desenvolver novos produtos, referenciando a opinião de diversos autores em relação ao facto de esta atitude poder contribuir para o sucesso de uma empresa. Para além disso são referenciadas todas as considerações e regras de projecto de peças em plástico existentes para a obtenção de um produto eficiente. O Capítulo 3 mostra o desenvolvimento preliminar do produto, onde são apresentadas as funcionalidades e especificações deste, bem como a selecção do seu conceito de design. No Capítulo 4 é apresentado todo o projecto mecânico, desde o desenvolvimento da solução construtiva do produto, declaração dos seus componentes, definição das especificações, técnicas de processamento e selecção de materiais, até ao dimensionamento mecânico (teórico e



numérico), modelação 3D e 2D. No Capítulo 5 é feita a optimização tecnológica, onde os componentes em análise são sujeitos a simulações de enchimento no software *Moldflow*, de maneira a encontrar possíveis erros no projecto. O capítulo 6 apresenta as tecnologias de transformação, onde são seleccionados os moldes e as máquinas necessárias para a produção de cada um dos componentes, sendo que no fim é feita uma análise económica que engloba os custos de todas essas tecnologias necessárias, bem como todos os outros custos associados ao projecto desde o seu início. Por fim, no capítulo VII apresentam-se todas as conclusões do trabalho efectuado, assim como sugestões de trabalhos futuros, de modo a possibilitar a continuidade do trabalho desenvolvido nesta dissertação. De seguida, encontram-se os anexos, nos quais constam os esboços realizados para a obtenção do design e da selecção construtiva do produto, as fichas técnicas dos materiais, e outro tipo de informações necessárias ao projecto. Por fim, estão as citações e referências bibliográficas utilizadas, segundo o estilo bibliográfico IEEE.

É de realçar que na realização do projecto do produto em desenvolvimento nesta dissertação, foi seguida uma metodologia, resultante do trabalho efectuado no primeiro semestre na unidade curricular “Projecto individual”, que realça todas as actividades indispensáveis para a obtenção de um produto eficiente, realizadas em simultâneo de modo a permitir a redução do time-to-market e dos custos de produção. Esta metodologia está apresentada na figura 1. Uma primeira etapa (representada a laranja e azul claro) designada de **identificação das oportunidades** é responsável pela definição da oportunidade final, consistindo inicialmente na declaração de uma missão que permite uma limitação de fronteiras. Por outro lado, é necessário que outro processo seja realizado em simultâneo: a investigação ao mercado. Esta investigação ao mercado, para além de estimular o processo criativo, resulta em *outputs*, como as necessidades dos clientes (ex. questionários) e a sua concorrência no mercado (ex. benchmarking) que por sua vez, funcionarão como *inputs* (tal como no processo inicial), auxiliando na selecção das melhores oportunidades e na definição da oportunidade final. Na seguinte etapa designada de **definição de especificações** (a azul escuro) foi necessário ter em conta informações provenientes do mercado, tais como as necessidades dos clientes e a concorrência no mercado. A relação entre essas informações permite definir os requisitos técnicos, aos quais o produto em questão tem que obedecer, tal como referenciado anteriormente. Estas especificações podem ser definidas directamente ou a partir de ferramentas alternativas que permitem uma definição mais controlada dessas definições, como é o caso do QFD. Esta definição de especificações é fundamental, tanto para o *design*, como para a engenharia do produto, sendo que de seguida



podem ser iniciadas ambas as etapas em simultâneo. A etapa de **design** (a laranja) tem início na geração de conceitos de estilo, com recurso a bases de dados, e à capacidade criativa individual de cada *designer*. Durante e após esta fase é possível recorrer à realização de protótipos/maquetes que, por sua vez possibilitarão o cumprimento da etapa seguinte, que corresponde à selecção do conceito de estilo mais adequado, combinado com métodos ou matrizes de avaliação e selecção. De seguida existe uma etapa de optimização do *design* seleccionado, de forma a melhorar o conceito e aplicar todas as alterações necessárias. Por fim chega-se à definição do *design* final do produto. Na **engenharia do produto** (a verde), a primeira etapa, **a selecção de materiais** tem então início após a definição das especificações, ao mesmo tempo que a equipa responsável pelo design inicia um processo criativo para a geração de conceitos de estilo. Esta selecção de materiais é realizada com o auxílio a bases de dados ou através do contacto directo com os fornecedores. No decorrer desta fase é possível também recorrer à realização de protótipos, que poderão ter, em conjunto com as bases de dados específicas, um papel fundamental na etapa seguinte, de selecção do grau da matéria-prima. A informação acerca da selecção do grau do material poderá ser importante para a selecção do conceito de design, havendo a necessidade de um controlo dos *timings* das etapas. Na etapa seguinte, **projecto mecânico** dos componentes, são realizadas todas as modificações necessárias no produto ao mesmo tempo que ocorre a fase de optimização do design, ou vice-versa. Existe também a possibilidade de, durante esta etapa de projeto mecânico, existir a necessidade de seleccionar uma nova matéria-prima, retomando-se o projeto mecânico. Esta etapa é realizada com o auxílio a softwares CAD/CAE. É fundamental ter também em conta que durante esta fase de projeto mecânico, pode existir uma relação directa com outras áreas de estudo, caso seja necessário esse conhecimento suplementar (ex.: electrónica, programação, etc.). Segue-se então a etapa de optimização, que recorre, igualmente, aos softwares de modelação e optimização, ao mesmo tempo que a equipa de *design* executa as etapas de optimização e selecção do design final. Após a conclusão de todas estas etapas procede-se à realização de protótipos funcionais que serão utilizados na etapa de testes. No entanto, como resultado dessa fase de testes, pode haver a necessidade de executar pequenas alterações no projeto e recorrer assim à etapa da optimização, passando logo de seguida novamente para os testes. O **projecto do molde**, bem como a **industrialização do produto** (a amarelo e verde, respectivamente), pode também ser executado em simultâneo com outras etapas do processo de desenvolvimento dos novos produtos. O projeto do molde e a industrialização do produto podem ser iniciados simultaneamente com o



projecto mecânico do produto. Após o projecto do molde é possível começar com a sua construção em simultâneo com definição de processo de produção/montagem industrial. Estes processos são executados com vista no DFE (*Design For Excellence*) do produto, que tem também em conta a obtenção do *design* final deste. O DFE na verdade é o resultado de um conjunto de sub-processos que permitem a produção eficiente e capaz (DFM), a montagem dos componentes integrados no produto (DFA) e a realização de testes e validações finais do produto (DFT). Após a realização destas etapas deve proceder-se à realização de um novo protótipo do produto em questão, que por sua vez, é sujeito igualmente a testes. Se todos os resultados dos testes forem positivos é possível, finalmente, proceder à produção e lançamento do produto final no mercado [1].

Ao longo deste projecto, esta metodologia vai sendo melhorada, sendo que no fim, após passar por todas as etapas do projecto, será apresentada uma metodologia reformulada.

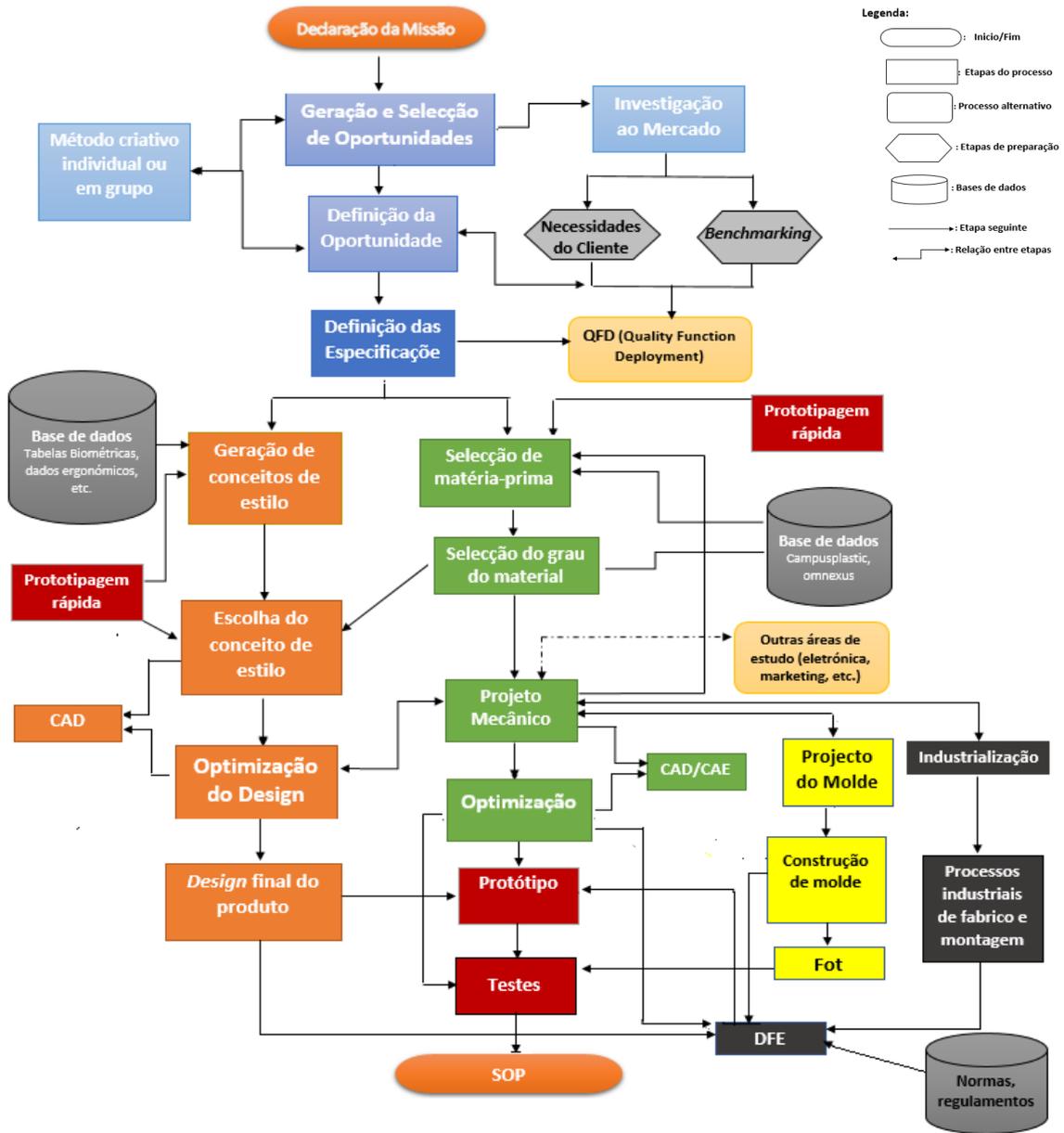


Figura 1- Metodologia de processo para o desenvolvimento de novos produtos.

Capitulo II - Estado da arte



1. Enquadramento

No projecto de concepção de um novo produto, para além de ser necessário compreender a ciência do desenvolvimento de um produto através de processos e metodologias de desenvolvimento, deve haver também um conhecimento do tipo de produtos já existentes no mercado com a mesma funcionalidade deste. Esta percepção permite o desenvolvimento de um produto o mais inovador e original possível, que acrescente um valor superior para o mercado, em relação aos produtos já existentes.

O capítulo designado de Estado da Arte visa então, numa fase inicial, fazer uma análise aos tipos de produtos já existentes no mercado que permitam a abertura de portas de forma mecânica, através de um estudo de mercado aprofundado. Para além disso, é feito um levantamento bibliográfico à cerca da importância dos processos e metodologias de concepção no desenvolvimento de produtos, bem como a necessidade de estabelecer metodologias de modo a tornar o processo mais rápido, económico e eficaz. Contudo, o processo de desenvolvimento de um produto vai desde a identificação da necessidade do mercado, até ao início da sua produção e entrada no mercado. Por essa razão, quando se pensa em desenvolver um produto novo, especialmente quando se trata de produtos em plástico, deve existir também um conhecimento em relação às regras e considerações que permitem a obtenção de um projecto eficiente, com um investimento o mais reduzido possível. No final deste capítulo, é então feita uma abordagem a todas as regras e considerações existente para o projecto de um produto em plástico, de maneira a auxiliar o desenvolvimento dos componentes do sistema de abertura de portas accionado pelo pé, concedidos neste projecto.

2. Sistemas mecânicos de abertura de portas em casas de banho publicas

A higiene permite às pessoas sustentarem ou promoverem uma boa saúde, impedindo qualquer tipo de contaminação e/ou infecção. Uma das formas de transmissão desse tipo de bactérias é através das mãos, uma vez que estas são uma parte integrante do corpo humano que têm um fácil contacto com infinitos locais, adquirindo, por vezes, bactérias que podem ser facilmente transferidas para o organismo. Os espaços públicos são zonas comuns a todo o tipo de pessoas, onde a higiene pessoal é facilmente comprometida, sendo a transmissão e respectiva



contaminação por bactérias bastante provável. Normalmente, nesse tipo de espaços, passam dezenas, centenas ou até mesmo milhares de pessoas por dia, existindo contacto com diversos objectos que já foram tocados, certamente por inúmeras pessoas. Um exemplo de uma situação que expõe a higiene/saúde de um indivíduo é a abertura de portas neste tipo de locais. Resultante de uma análise às necessidades do mercado surgiu a oportunidade de desenvolvimento de um sistema que permitisse reduzir a necessidade do contacto da mão na abertura da porta de casas de banho públicas, e com isso a transmissão de bactérias, uma vez que já existem diversas soluções com esse mesmo objectivo, mas nenhuma que se direcione para a abertura de portas. O ponto de partida para este estudo são os sistemas mecânicos de abertura de portas, existentes em locais públicos. As portas de controlo automático já muito utilizadas constituem, de facto, uma solução eficaz, tendo em contas as dificuldades de vários tipos de utilizadores, ao nível da força e mobilidade, sendo também uma forma de facilitismo para o público em geral. No entanto, do ponto de vista financeiro, a implementação de automatismos nas portas é, em muitos casos, injustificável pois, embora os sistemas automáticos de abertura de portas possuam uma longa e variada presença no mercado, muitos são os contextos em que não há capacidade económica para aquisição e manutenção deste género de produtos. Para além disso, estes sistemas possuem uma grande probabilidade de falhar em certas situações, como por exemplo na falta de electricidade, inexistência de redes *wi-fi* ou até mesmo devido à degradação de dados biométricos, que poderá diminuir a segurança deste tipo de sistemas, tornando-os de certa forma menos eficazes. Por esta razão o sistema de abertura de portas pensado neste projecto foi direccionado para os sistemas mecânicos, pondo um pouco de parte as tecnologias existentes.

Uma das soluções mais utilizadas para a abertura de portas, nomeadamente em locais públicos é a maçaneta tradicional nas suas diversificadas formas, em forma de L, redonda, ou qualquer outro tipo de configuração idealizada, bem como o puxador de porta, sendo estes os mecanismos mais conhecidos para este efeito (figura 2). No entanto o modelo em L pode apresentar algumas limitações, uma vez que o seu accionamento ocorre por meio de uma força pontual, sendo pouco útil em situações em que as mãos se encontram ocupadas ou quando a utilização é feita por portadores de deficiência ou idosos. A maçaneta redonda não tem de ser, obrigatoriamente, uma esfera, podendo ter qualquer forma desde que mantenha o centro de massa no núcleo da sua geometria. A principal característica deste tipo de produto é permitir que a operação aconteça por meio do contacto entre a mão e todo o seu corpo, sendo necessário



haver atrito para que esta consiga girar. Contudo estas maçanetas não são tão apropriadas em certas situações como, por exemplo, no caso de mãos molhadas ou sujas [2].



Figura 2- Maçaneta tradicional

Em contrapartida, no sentido de reduzir ao máximo o contacto da mão com a maçaneta na abertura da porta, começou-se a utilizar os trincos de porta, em locais públicos, nomeadamente nas casas de banho (figura 3). Este permite bloquear a porta somente do lado de dentro do compartimento, apenas através de um contacto ligeiro entre a mão e o trinco. No entanto este sistema só permite o desbloqueio da porta, sendo necessário o contacto entre a mão e a porta para realiza a sua abertura, após já diversas pessoas o ter feito, ao utilizar a casa de banho, por exemplo.



Figura 3- Exemplos de “Trincos de porta”.

Por outro lado, de maneira a reduzir ao máximo a transmissão e a contaminação de doenças propagáveis comuns, dois jovens, *Ming Wong* e *Kin Pong Li*, desenvolveram um novo conceito de maçaneta, que resolve o problema da transmissão das bactérias nas portas de casas de banho públicas e/ou noutros sítios frequentados por muita gente. Esta é feita de material transparente e emite luz ultravioleta, cuja energia é proveniente do movimento da porta, e permite matar as bactérias. Esta permite uma higiene superior neste tipo de locais. É de realçar que já existem tentativas de utilização deste tipo de sistema na forma de maçaneta ou na forma de puxador, no entanto a sua comercialização/utilização ainda é quase inexistente no mercado. (figura 4) [3].

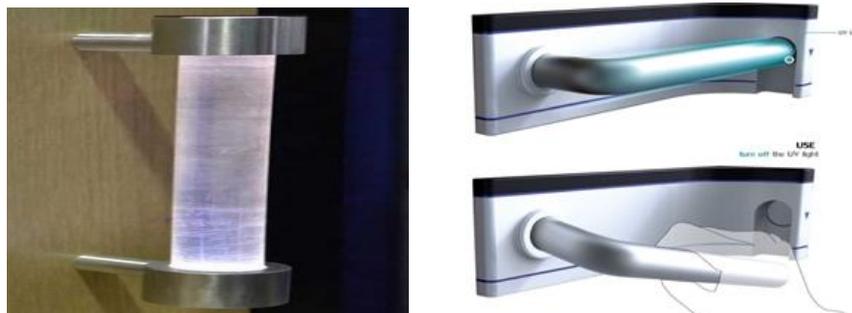


Figura 4- Conceito de Sistema de abertura de porta Auto esterilizante.

Outro exemplo, mais tradicional, de um sistema desenvolvido para evitar o uso da mão é a maçaneta do tipo alavanca, exibida na figura 5, destinada a ambientes hospitalares. Esta permite o encaixe do cotovelo, permitindo a abertura da porta em locais públicos de uma forma mais higiénica. No entanto este pode não ser o método mais confortável para a abertura de uma porta.



Figura 5- Maçaneta de braço.

Outro tipo de sistemas de abertura de portas que permite diminuir a utilização das mãos em locais públicos é o puxador de pé (figura 6). Normalmente este tipo de produtos possuem uma estrutura que permite que o pé encaixe, puxando ou empurrando a porta para o lado correcto. Existem uma grande variedade de *designs* e estruturas que permitem a abertura da porta pelos membros inferiores, podendo também serem produzidos em metal ou plástico. No entanto estes só permitem puxar ou empurrar a porta, e não um bloqueio desta, sendo inúteis em certas circunstâncias onde é necessário uma certa segurança e/ou privacidade, como é o caso do compartimento das casas de banho públicas.



Figura 6- Puxador de pé.



Em compensação já existem tentativas de utilizar o pé como sistema de abertura de portas. *Foot latch* é um conceito desenvolvido pelo *designer* industrial Behzad Rashidizadeh. Este é um exemplo de um pequeno pedal acessível a partir do interior de uma certa divisão, permitindo que se utilize o pé para bloquear/desbloquear a porta (figura 7). No entanto este tipo de sistemas é ainda um conceito, não sendo, até agora comercializado [4].



Figura 7- *Foot latch*

Existem também algumas patentes, como é o caso da patente criada por Vicent Stephenson Brown ou por Sacha Klein, de mecanismos de abertura de portas que permitem a utilização do pé [5] [6].

3. Desenvolvimento de novos produtos e utilização de metodologias de processo

As empresas são confrontadas com uma elevada concorrência e com uma exigência por parte dos clientes cada vez maior, pondo em risco a permanência do seu produto no mercado. A fim de conseguir contornar esse problema e alcançar uma vantagem competitiva, as empresas têm de apostar na criatividade e na inovação, desenvolvendo e introduzindo novos produtos no mercado. Esta capacidade inovadora é fundamental para o êxito a longo prazo e para a sobrevivência da empresa, permitindo a manutenção de uma organização diversificada e que se adequa às condições inconstantes do mercado, tais como, mudanças na tecnologia, ciência, marketing e na concorrência [7]. Assim, as equipas encarregues pelo desenvolvimento de novos produtos são os principais responsáveis pela velocidade da sua introdução no mercado, introduzindo, ao mesmo tempo, melhorias relativamente aos produtos já existentes, com valor acrescentado para o consumidor e um custo reduzido, que permitem criar uma vantagem competitiva. No entanto é fundamental que as organizações estejam preparadas para acompanhar o aumento progressivo da dinâmica dos mercados, com processos, técnicas e metodologias de



trabalho adaptadas aos novos produtos, conseguindo, desta forma, responder com rapidez e qualidade, às exigências e expectativas dos seus clientes [8]. A criação de novos produtos implica a utilização de procedimentos especializados para o seu desenvolvimento, bem como o recurso a diferentes áreas de conhecimento, tentando estabelecer um inter-relacionamento entre todos os elementos da equipa especializados nas diferentes áreas, bem como possíveis relações com organizações externas. Crawford considera fundamental que o envolvimento e o relacionamento entre todos os elementos da equipa do projecto sejam estabelecidos o mais cedo possível [9].

As empresas, geralmente gastam muito tempo em aspectos operacionais de rotina, pondo, por vezes, de parte outras actividades igualmente importantes no processo de desenvolvimento. De maneira a contrariar essa tendência e fazer desta uma actividade eficiente, deve existir uma programação das actividades indispensáveis ao processo, de modo a evitar que nenhuma actividade importante seja esquecida. Este tipo de metodologias é muitas vezes representado através de fluxogramas e designados por modelos de processo. Estudos indicam que as empresas que utilizam um modelo de processo de desenvolvimento de novos produtos obtêm melhorias no trabalho de equipa, reduzem o retrabalho e apresentam maiores taxas de sucesso com tempos de ciclo reduzidos [10]. Um modelo de processo é uma abordagem útil para organizar e controlar as diversas actividades envolvidas no desenvolvimento de um novo produto, e para além disso, fornece um esboço em torno do qual cada elemento da equipa de projecto pode construir o seu próprio plano, específico para um determinado produto/projecto. O desenvolvimento do produto é multifuncional, onde todos os elementos trabalham em conjunto, numa equipa multidisciplinar de forma a realizar todas as tarefas necessárias [10]. Nas organizações bem-sucedidas, os processos são modificados no sentido de criar modelos mais detalhados, que incluem todos os passos fundamentais para a obtenção de um produto de sucesso.

4. Projecto de peças em plástico: requisitos e considerações

Num mercado cada mais competitivo torna-se imperativo o posicionamento concorrencial das empresas, produzindo produtos de sucesso, que correspondam às necessidades e expectativas do mercado. Um bom projecto é importante para qualquer produto fabricado, mas para peças em plástico este é absolutamente vital. Na maioria dos projectos de peças metálicas, não há necessidade de se preocupar com os efeitos do tempo, temperatura ou do ambiente a que



estará sujeito durante a sua vida útil. No entanto para os componentes em plástico a história é completamente diferente: estes podem encolher com passar do tempo, as suas propriedades mudam com as alterações de temperatura no seu meio ambiente, entre muitos outros. Por estas razões, ao considerar a produção de peças em plásticos é necessário ter em conta a grande quantidade de factores que pode afectar os resultados finais tanto em termos de desempenho final do produto como a nível estético e económico. Por outro lado, os materiais plásticos são menos tolerantes que os metais no que toca às propriedades mecânicas, e por isso a passagem para o sucesso empresarial deve assentar fundamentalmente na optimização do projecto, na fiabilidade e reprodutibilidade dos processos de transformação em tempo real, que permitam a obtenção de um produto de elevada performance [11].

Existem, portanto, na literatura diversas regras e recomendações para a obtenção de um bom projecto de peças em plástico. No entanto, antes de proceder à análise e aplicação de todas essas regras e considerações aos componentes em questão, é necessário ter em conta alguns dos requisitos necessários para a obtenção de um produto final com as características pretendidas. Na concepção e desenvolvimento de peças é importante então concentrar-se na definição e maximização do desempenho e aparência dos componentes, especificando os requisitos para a obtenção do produto pretendido, avaliando de seguida as opções de processo que permitem o cumprimento destas especificações, a selecção do material apropriado, redução dos custos de produção e realização de testes do protótipo [12].

4.1. Requisitos no projecto com plásticos

As propriedades básicas de uma peça plástica podem ser modificadas por diversos factores (como a radiação UV, variação da temperatura, entre outros), podendo chegar ao ponto de esta se tornar inútil. Da mesma forma uma peça bem projectada pode falhar facilmente, se o material for processado em condições inadequadas, uma vez que os transformadores geralmente não conseguem eliminar as falhas de projecto, durante o processamento. Por essa razão a obtenção de uma boa peça plástica só pode ser assegurada através de um processo de optimização que tenha em conta todos os factores desde o início do projecto, começando com uma análise minuciosa e exacta de todos os requisitos e todas as condições de aplicação, de forma a que todas as regras sejam aplicadas adequadamente à situação em questão.



Bayer considera que entre alguns dos requisitos a ter em conta no início de um projecto estão: os requisitos funcionais, tais como o carregamento mecânico e estabilidade química; as necessidades estéticas, como a cor e o nível de transparência; e as preocupações económicas, tais como custo de materiais, mão de obra e equipamentos, juntamente com outras preocupações de projecto - como parâmetros de aprovação por parte de determinadas agências, processamento, e consolidação da peça. A tabela 1 apresenta alguns dos aspectos que devem ser tidos em conta na fase inicial do projecto de uma peça em plástico [12].

Tabela 1- Alguns requisitos a ter em conta no projecto de peças em plástico.

Requisitos	Considerações
Carregamento mecânico	É importante avaliar todos os tipos de cargas mecânicas a que estará sujeito, que podem levar à fadiga ou ao desgaste do material, durante o seu tempo de vida útil.
Temperatura	Muitas propriedades variam com a temperatura. Por essa razão é necessário considerar um valor que tenha em conta todas as temperaturas às quais a peça estará exposta, desde o seu processo de transformação até à aplicação no seu meio ambiente, sem comprometer nenhuma das suas propriedades
Exposição química	As peças de plástico podem contactar com uma grande variedade de produtos químicos, tanto durante a fabricação como no ambiente em que são inseridos. Caso esse contacto prejudique as propriedades do material isso influenciará a selecção de materiais.
Resistência às intempéries	A exposição de peças plásticas às condições climáticas (temperatura, humidade, chuvas ácidas, etc.) pode afectar a aparência e as propriedades do material. Por essa razão é necessário ter em conta a exposição do produto a esse tipo de condições (ocasional, permanente ou inexistente).
Performance eléctrica	Na sua generalidade os plásticos possuem uma boa resistência eléctrica, no entanto é necessário ter em conta a performance eléctrica requerida, pois isto irá influenciar o restante projecto, nomeadamente a selecção do material mais adequado que realce esta propriedade.



Radiação	Alguns produtos (lâmpadas fluorescentes por exemplo) emitem radiações que podem degradar o material ou torna-lo amarelado. Se o produto em questão for sujeito a determinadas condições pode ser necessário a introdução de estabilizantes UV, por exemplo.
Aparência	A estética é também um requisito importante em peças de plástico. Dependendo da aplicação a que está destinada, está poderá ter que ser transparente ou ter uma cor específica. Também pode exigir outro tipo de acabamentos superficiais.
Tempo de vida útil	Certos componentes precisam de atender a determinadas expectativas de tempo de vida útil, sendo este um recurso importante para tomar certas decisões no projecto.
Aprovações agenciais	Agências governamentais e privadas possuem determinadas especificações e ciclos de aprovação para peças de plástico, nomeadamente para aplicações medicas, alimentares, militares, etc.
Tolerâncias dimensionais	Muitas aplicações têm características que exigem tolerâncias dimensionais apertadas de forma a não afectar o seu funcionamento ou a sua montagem. Este requisito pode aumentar os custos do material, do processo e da ferramenta.
Processamento	Analisar todo o tipo exigências da peça que dependem do processamento de forma a poder adequar o processo de transformação.
Quantidade de peças a produzir	O número de peças que se pretende produzir pode influenciar decisões, nomeadamente na selecção do método de processamento, selecção de materiais e projecto de molde.
Restrição de custos	A restrição de custos logo no inicio do processo é importante pois este irá influenciar a tomada de decisões ao longo do processo. É necessário considerar o custo total relativo a todo o processo.
Montagem	Os requisitos de montagem podem ser factores importantes no projecto de uma peça. Neste caso é necessário ter em conta a compatibilidade dos materiais envolvidos na montagem, nomeadamente na discrepância de valores dos coeficientes de expansão térmica.



O cumprimento dos requisitos identificados inicialmente e conseqüentemente a obtenção de um projecto nas condições pretendidas é o resultado de um conjunto de boas decisões tomadas nos diferentes parâmetros do projecto, nomeadamente na selecção da técnica de processamento e material adequados. Por outro lado, para a produção de peças funcionais em plástico que permitam o cumprimento dos requisitos e reduzam, simultaneamente os custos, é geralmente necessária uma alteração radical no projecto, principalmente se o plástico for utilizado para substituição do metal. Esta necessidade oferece a oportunidade de redesenhar completamente a peça, com a possível modificação e integração de novas funções e a sua simplificação geométrica. A aplicação correcta e apropriada de todas as regras e considerações existente na literatura no desenho de uma peça plástica leva também à obtenção de um projecto de elevada performance e redução de custos [13]. De seguida serão apresentadas então as diferentes etapas indispensáveis e as considerações a ter para a obtenção de um bom projecto. Contudo, devido ao facto de o projecto com plásticos ser um processo mais complexo, é importante estar ciente de que as recomendações não são intrínsecas a todas as peças, estas devem ser cuidadosamente analisadas e adequadas à aplicação em questão.

4.2. Selecção da técnica de processamento adequada

Numa primeira fase é necessário perceber que técnica de processamento é a mais adequada para a obtenção de uma peça com as características requeridas. Diversas técnicas são utilizadas para a produção de peças plásticas, nomeadamente termoplásticas. Cada um desses métodos possui exigências de concepção específicas, bem como determinadas limitações. Normalmente, num projecto, o tamanho e a forma do produto final são essenciais para a selecção do melhor processo, no entanto, em alguns casos, o componente é o resultado de mais de um processo. O restante desenvolvimento do produto pode diferir consoante o método de processamento seleccionado, e por isso a equipa de projecto deve tomar uma decisão logo no seu início [12]. Para a selecção da melhor técnica de processamento de determinado componente é necessário possuir uma visão geral acerca de alguns dos métodos de processamento existentes, de forma a perceber aquele(s) que poderá proporcionar ao produto final as características requeridas.



a) Moldação por injeção

A moldação por injeção é o método de transformação de termoplásticos mais utilizado na produção de peças plásticas. Esta técnica consiste em forçar material plástico fundido contra um molde, com a geometria e as características desejadas, a alta pressão. O material adquire então a forma do molde à medida que solidifica. Normalmente, é um processo de ciclo rápido, capaz de produzir uma grande quantidade de peças com uma ampla variedade de tamanhos. Para além disso a moldação por injeção oferecem uma excelente repetibilidade e permite a produção de peças com tolerâncias dimensionais relativamente apertadas. Os moldes permitem a produção de características e texturas complexas, bem como elementos estruturais e de montagem. No entanto, este processo, geralmente requer a produção de grandes quantidades de peças de forma a compensar os custos elevados do molde, para além de que, as modificações do molde resultantes de mudanças no projecto do componente podem sair muito caras, daí este processo exigir um bom projecto de forma a evitar custos acrescidos. Por outro lado, o projecto destas peças pode tornar-se numa tarefa complicada devido à complexidade quer da geometria da peça quer do próprio processo de moldação [14].

b) Extrusão

A extrusão é uma técnica de processamento de plásticos desenvolvida para o fabrico de produtos de grande consumo, tais como tubagem, perfis, filmes, fio eléctrico, fibras e filamentos, utilizados pelas indústrias de construção civil, embalagem, automóvel, eléctrica e electrónica, têxtil, etc. Na prática, a extrusão de polímeros é efectuada numa linha de extrusão, que compreende a extrusora, a fiação e o equipamento acessório, que assegura a realização de algumas operações essenciais. Neste método, quando o material funde totalmente, adquire pressão suficiente para ser “empurrado” (contínua ou intermitentemente) através de um filtro e de uma fiação, canal com uma secção transversal específica, adquirindo a forma aproximada desta. É um processo geralmente económico para a produção de perfis simples, sendo que esta técnica em pouco contribui para o custo final do produto. No entanto a introdução de furos ou ranhuras no componente exige operações secundárias que aí sim, podem pesar no custo final do produto [15].

c) Termoformação

A termoformação é uma técnica de transformação de termoplásticos que empurra uma folha de material aquecida contra as paredes de um molde com a forma do produto, através da



aplicação de vácuo ou de pressão. O material arrefece e adquire a forma do molde. Os custos do molde e equipamentos, bem como as pressões utilizadas neste método são muito mais baixas que nos moldes de injeção, para peças com um tamanho comparável. No entanto, uma vez que o plástico é adquirido em forma de uma folha, os custos da matéria-prima tendem a ser mais elevados, para além de que a selecção de materiais é limitada às classes de extrusão. As peças resultantes da termoformação não detêm um grande detalhamento e necessitam de acabamentos de forma a remover os excessos de material, originando desperdícios. Outra desvantagem deste método é a distribuição de espessuras geradas devido ao contacto da folha de material com o molde em momentos distintos [16].

d) Moldação Rotacional

Na moldação rotacional, o material termoplástico, normalmente em forma de pó, é colocado dentro de um molde, que é então aquecido. Este molde gira sobre dois eixos perpendiculares, e à medida que o conjunto aquece, o plástico funde e distribui-se pelo molde, devido ao movimento de rotação. De seguida o molde é arrefecido e o material solidifica, adquirindo a forma deste. Este processo é normalmente utilizado na produção de peças ocas de grandes dimensões. Os custos dos moldes e dos equipamentos são normalmente reduzidos, e o processo é adequado quando é requisitada a produção em pequenas quantidades. Em contrapartida os tempos de ciclo demoram muito tempo, e grandes lotes de produção pode exigir vários conjuntos de moldes, afectando por sua vez os custos finais do produto [17].

e) Moldação sopro

Existem dois tipos mais comuns de moldação por sopro: baseada na extrusão ou na injeção. Nesta técnica de processamento, o material é inicialmente extrudido ou injectado, dependendo das características do produto final que se pretende obter, sendo que de seguida é normalmente aquecido e forçado contra as paredes de um molde através da aplicação de uma pressão (“sopro”). Esta técnica de moldação produz de forma eficiente peças ocas, tais como garrafas. Na moldação sopro as peças apresentam uma precisão dimensional menor do que as produzidas por injeção, pois a espessura e as tolerâncias são difíceis de controlar. A outra desvantagem é o facto de o acabamento superficial e os detalhes serem de baixa qualidade devido ao tipo de moldes utilizados (mais simples) e à pressão de insuflação utilizada (o acabamento e os detalhes serão tanto melhores quanto maior for a pressão utilizada) [18].



4.3. Selecção do material: escolha correcta

Uma vez que os plásticos são menos tolerantes que os metais, no que se refere às falhas de projecto, deve ser dedicada uma grande atenção à escolha do material correcto, quando se projectam peças plásticas. Tal como refere a empresa de matéria-prima *DuPont*, “não existe um mau material, existe apenas materiais inadequados a determinadas aplicações”. Por isso, é essencial que os projectistas conheçam plenamente as propriedades dos diversos materiais, testando-os cuidadosamente.[13] Existe, contudo, uma diversidade desconcertante de materiais plásticos no mercado que podem ser aplicados na produção de peças. Além disso, a composição ou a introdução de catalisadores gera novas ligações, misturas e formas moleculares, aumentando ainda mais a variedade destes materiais. A dificuldade de fazer a escolha certa é então compreensível. No entanto, os plásticos podem ser agrupados em categorias, baseadas na semelhança das suas propriedades: polímeros naturais, termoplásticos, termoendurecíveis e elastómeros. Os projectistas de componentes plásticos devem, conseqüentemente, estar familiarizados com as propriedades desses diferentes grupos de materiais. Os materiais mais frequentemente utilizados no projecto de produtos de utilização comum são os termoplásticos. Estes podem ser subdivididos em duas categorias: amorfos e semi-cristalinos. A diferença entre estes dois tipos de polímeros é significativa, essencialmente quanto a estrutura molecular e em relação a todas as propriedades influenciadas pela cristalização, fazendo com que uma das grandes diferenças deste tipo de materiais seja a possibilidade de adquirir transparência por parte dos materiais amorfos. O comportamento deste tipo de materiais relativamente a algumas propriedades pode ser visualizado na tabela 2 [13].

Tabela 2- Comparação de propriedades de materiais termoplásticos.

	Amorfos	Semi-Cristalinos
Propriedades mecânicas	0	+
Resistência química	-	+
Resistência à fadiga por flexão	-	+
Deformação crítica	0,4% - 0,8%	0,5% - 8%
Temperatura de aplicação	0	+



Propriedades de fusão	Temperatura de transição vítrea	Ponto de fusão exacto
Contração	0,3%-0,8%	1,0%-3%

+ Favorável 0 Satisfatório – Insatisfatório

Sendo os materiais plásticos mais sensíveis que os metais, nomeadamente no que toca as suas propriedades mecânicas, outra consideração importante a ter, quando se trabalha com este tipo de materiais é que quanto mais a temperatura deste se aproxima da temperatura de fusão do mesmo, mais dependente do tempo e da temperatura é o comportamento do material no que se refere à sua deformação. As propriedades mecânicas e a estabilidade dimensional de um material podem ser também afectadas pela humidade, por isso é importante dar uma atenção especial a esta característica, durante a selecção do material. Por outro lado a selecção de um material reforçado com fibras de vidro significa num aumento da sua resistência e rigidez (caso estes sejam requisitos importantes), sendo relevante referir a opção por este tipo de reforços. Outros requisitos estão relacionados com as considerações de processamento e montagem. É igualmente importante investigar se existe a possibilidade de integrar diversas funções numa só peça, poupando assim operações e custos acrescidos. Essa medida pode apresentar um efeito muito vantajoso sobre os custos de produção. Por fim é essencial ter em conta que os materiais com maior rigidez permitem paredes mais finas, resultando assim em ciclos mais rápidos e custos reduzidos [13].

Neste processo é possível o recurso a softwares que ajudam na selecção do material (tipo e grau do material) ou então um contacto com os fornecedores de matéria prima que fornecem um aconselhamento. Este pode apelar também à realização de protótipos de forma a sustentar a selecção, ou feita uma comparação com os materiais já utilizados em produtos idênticos com a mesma funcionalidade.

4.4. Considerações gerais no projecto das peças plásticas injectadas

Um produto bem projectado traz vantagens tanto para o utilizador como para o sucesso da empresa, evitando preocupações e gastos desnecessários. Na literatura existem diversas definições dos conceitos básicos de um bom projecto de peças plásticas. Todas essas regras e considerações são necessariamente generalizações, aplicadas muitas vezes, mas não



invariavelmente, em materiais termoplásticos, com frequência, mas não exclusivamente, em materiais processados pelo método de moldação por injeção, devido ao facto de resultarem destas peças com geometrias complexas e bastantes detalhadas. De facto, projectar uma peça que seja ao mesmo tempo funcional, processável e esteticamente agradável pode ser uma tarefa difícil e, portanto, existem várias publicações referentes às normas a seguir durante o projecto de uma peça de plástico. De seguida são apresentadas algumas das considerações gerais mais importantes a ter em conta no projecto de uma peça em plástico [11].

a) Espessura da parede

A espessura da parede influencia muitas características importantes numa peça plástica, essencialmente o seu desempenho mecânico, aparência estética, processamento e custos do material. Teoricamente cada aumento de 10% na espessura fornece um aumento de aproximadamente 33% na rigidez do material. Sendo um material mais sensível no que toca, essencialmente, as propriedades mecânicas, o aumento de espessura poderia ser uma vantagem. No entanto, peças plásticas não se dispõem à utilização de formas e geometrias utilizadas em componentes sólidos, por exemplo. Independentemente da complexidade, estas peças exigem a utilização de formas “*Shell*” com paredes relativamente finas, unidas por curvas, ângulos e cantos arredondados, como é ilustrado na figura 8. Existem duas razões para isso. Em primeiro lugar, os plásticos, apesar de necessitarem de elevadas temperaturas para fundir e ser processados, são maus condutores de calor, fazendo com que as secções da peça com as paredes mais espessas demorem muito tempo a arrefecer, aumentando o seu tempo de ciclo. Durante o processo de arrefecimento, existe uma grande probabilidade de redução de volume (contração do material), sendo essa redução mais significativa nas secções mais espessas, levando também à geração de pontos de retenção de ar que podem afectar as propriedades da peça. Por outro lado, apesar de por vezes os materiais plásticos serem mais baratos que outro tipo de materiais, as elevadas espessuras podem ser vistas como desperdícios de material, fazendo com que o produto não seja assim tão rentável comparativamente com a utilização de outro tipo de materiais de custos superiores. A espessura da parede, para além de uniforme, deve ser então tão espessa quanto necessário, de forma a aguentar as solicitações mecânicas, e tão fina quanto possível, evitando a contração e desperdício de material. Como um guia geral, as espessuras de parede para materiais não reforçados devem estar entre os 0,5 mm e os 5 mm. Já materiais reforçados, podem ter espessuras entre os 0,75 mm e os 3 mm [11][12].

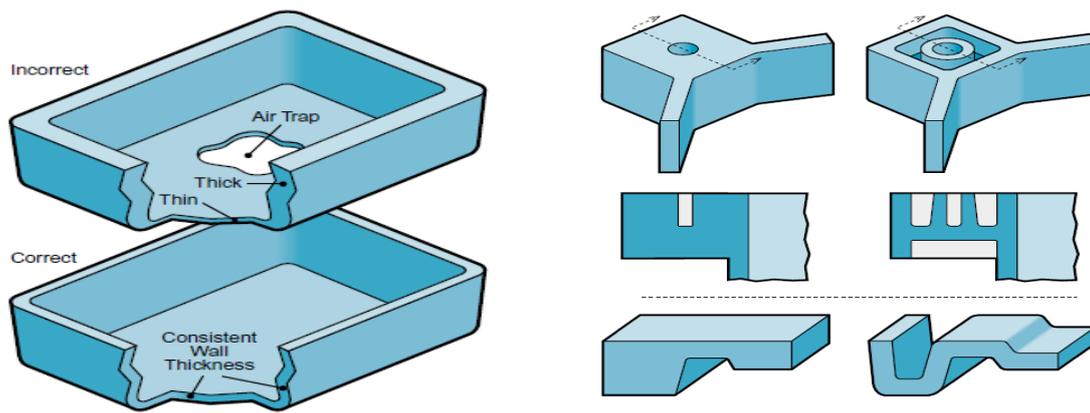


Figura 8- Considerações da espessura de paredes de peças plásticas: formas e geometrias ideais

Em alguns casos, as propriedades dependentes da espessura, tais como retardamento de chama, a resistência eléctrica e o amortecimento do som, são responsáveis pela determinação de uma a espessura mínima exigida. A espessura ideal é muitas vezes um equilíbrio entre tendências opostas, tais como, a resistência contra a redução de peso ou a durabilidade versus o custo. Todas estas considerações têm de ser analisadas numa fase inicial do projecto de forma a evitar possíveis modificações nas peças e moldes, que acarretam um maior investimento [11][13].

b) Nervuras

Peças plásticas devem ser então projectadas com paredes relativamente finas e uniformes ao longo de toda a peça. No entanto, quando a espessura da parede normal da peça não é suficiente para resistir às solicitações mecânicas e condições de serviço a que estará sujeita, uma das soluções seria o aumento da sua espessura. Outra forma de aumentar a rigidez da peça de maneira a que esta possa resistir às circunstâncias é a selecção de um material que apresente um módulo de elasticidade mais elevado que o material original, ou simplesmente o aumento da proporção de fibras de vidro que reforçam o polímero. Contudo, admitindo-se a mesma espessura de parede, isso resulta apenas no aumento linear da rigidez. Uma solução muito mais eficaz é a adição de nervuras correctamente projectadas. As nervuras proporcionam um meio de aumentar economicamente a rigidez e robustez das peças moldadas sem aumentar a espessura total da parede. A rigidez da peça é aperfeiçoada como resultado do aumento no momento de inércia, que, considerada inicialmente como uma viga em forma de “U” se aproxima da geometria das vigas em I e em T que possuem uma rigidez mais próxima das vigas solidas [13][11].



Quanto às dimensões ideais das nervuras, é geralmente necessário ter em conta não só as considerações de engenharia no projecto, como também os factores técnicos relativos à produção e aos aspectos estéticos da peça no final. O aumento do momento de inércia pode ser conseguido mais facilmente introduzindo nervuras altas e grossas no projecto da peça. No entanto, essa facilidade na obtenção de um momento de inércia mais elevado pode gerar problemas no processamento, como chupados, vazios e empeno, nomeadamente quando se trata de polímeros de engenharia. Além disso, se a altura das nervuras for muito elevada, há o risco de as nervuras sofrerem deflexão sob carga. Por outro lado, a espessura das nervuras pode afectar directamente o fluxo de material, uma vez que o enchimento da peça pode ser dificultado quando se utilizam nervuras muito finas. Por essa razão, é absolutamente necessário manter as dimensões das nervuras dentro de proporções razoáveis (Figura 9). A espessura da nervura depende então da funcionalidade da peça e do material, bem como das características da peça que se pretende obter. Se o aparecimento de chupados no lado oposto ao da nervura não for considerado um problema, a espessura da nervura poderá ser igual à espessura t da parede; caso contrário, deverá ser utilizado uma espessura de $0,5w$, em materiais com grande contracção (exemplo: polipropileno e o polietileno) e $0,75w$, em materiais que contraem pouco (exemplo: ABS e o policarbonato). Uma vez que a altura das nervuras e a distância a outra nervura podem também provocar problemas no enchimento e extracção do componente, respectivamente, estas devem ter uma altura cerca de 2,5 vezes a espessura da parede da peça e distância entre nervuras aproximadamente 2 vezes a espessura da peça [13][19].

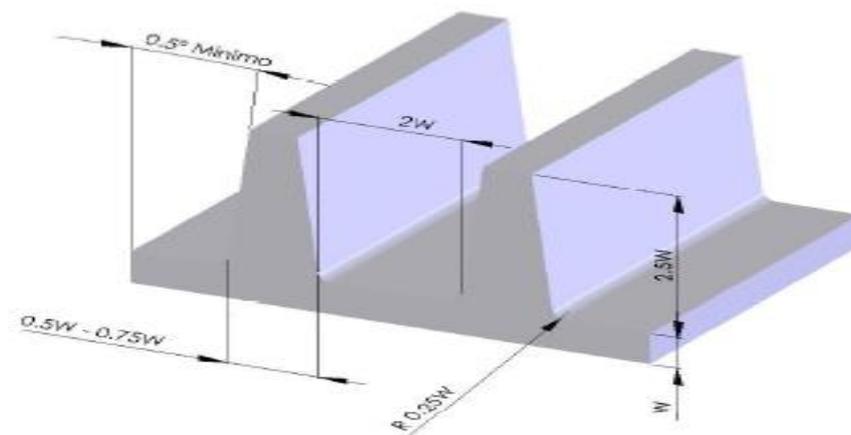


Figura 9- Dimensionamento de nervuras.

É, de igual forma importante considerar cuidadosamente a localização e quantidade de nervuras a introduzir. Nervuras adicionadas para aumentar a resistência das peças e impedir a ruptura podem efectivamente reduzir a capacidade da peça de absorver impactos sem falhar. Da



mesma forma, uma sequência de nervuras adicionadas para garantir rigidez pode levar a dificuldades no arrefecimento e conseqüente empeno da peça. Estruturas com nervuras cruzadas mostraram sucesso, no projecto de peças plásticas, isto porque podem suportar diversas configurações de cargas aplicadas, assegurando a distribuição uniforme da carga por toda a peça moldada. Porém, às vezes, é apenas necessário rigidez numa determinada direcção. Neste caso, é possível melhora-la ao longo do comprimento pela adição de uma série de nervuras paralelas, sendo estas denominadas de nervuras unidireccionais. Por ultimo é necessário também ter em conta a acumulação de material que se dá na projecção de nervuras, que pode prejudicar o bom funcionamento da peça (criação de chupados, empenos, contracção o material, etc.), nomeadamente nos nódulos que se podem formar nas intersecções das nervuras, devendo ser optimizados de forma a prevenir possíveis problemas, através da inserção de um circulo com de determinadas dimensões que reduza essa acumulação. É igualmente necessário evitar a acumulação indevida de material, nos pontos onde as nervuras se unem às bordas da peça [12][13].

c) Cantos afiados e raios de curvatura

A aplicação de uma espessura da parede correcta e uniforme resulta numa peça plástica com superficies relativamente finas. No entanto a forma de união das paredes é igualmente vital para a qualidade de uma peça moldada. A maneira mais fácil e, a pior, para se juntar as paredes de uma peça e através de cantos rectos. Um dos principais problemas gerados pela existência de cantos rectos é a concentração de tensões nessas zonas que aumentam consideravelmente o risco de quebra. Isso acontece porque a concentração de tensões na esquina é suficiente para iniciar uma fissura microscópica, que se pode propagar através da parede e causar uma falha ainda maior no material. A resposta é a aplicação de um raio nos cantos, tanto interno como externo, que diminua substancialmente a concentração de tensões. Para além disso, cantos arredondados facilitam o fluxo de material no molde, reduzindo a pressão na cavidade e minimizando o aparecimento de linhas de soldadura. Contudo, é preciso saber quais os valores do raio ideal para cada uma das situações, evitando possíveis problemas de empeno e contracção. A figura 10 a) indica qual raio utilizar, dependendo da espessura da parede do componente. Para além disto, quando existem diferentes espessuras ao longo da peça a transição entre a parede fina e a grossa deve ser feita de forma suave, através da adição de ângulos ou raios de forma a evitar mudanças bruscas de espessura, como representado na figura 10 b). Arredondar todos os



cantos de uma peça, seja plástica ou metálica, é uma das considerações mais importantes a ter durante o seu projecto, uma vez que também proporcionam um fabrico mais fácil nas varias técnicas de processamento de plásticos. Os raios maiores são quase sempre preferíveis a raios mais pequenos, no entanto é recomendada a utilização de um raio mínimo igual a 0.25 vezes a espessura da peça. É preciso ter em conta que o valor mínimo admissível para os raios de curvatura é de 0,3 mm, pois abaixo desse valor a secção plástica funciona como uma lamina, contudo, o valor mínimo ideal do ponto de vista mecânico de forma a ser possível maquinar é de 0,5 mm.

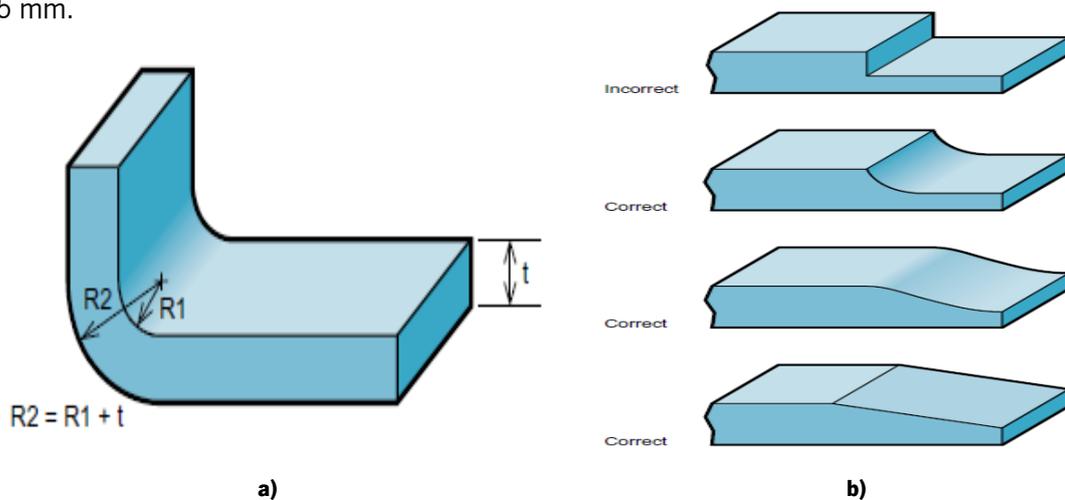


Figura 10- Raios de curvatura: **a)** atribuição dos raios na parte interna e externa da peça. **b)** transição gradual entre secções de parede grossa e fina através da atribuição de raios de curvatura.

d) Ângulos de saída

De forma a facilitar o processo de extracção da peça e evitar que esta se danifique são geralmente adicionados ângulos de saída a determinadas partes do produto, tais como paredes, nervuras, furos, castelos, entre outras, que se encontram paralelos à direcção de ejeção do componente, sendo que estes ângulos são utilizados na direcção de extracção das peças plásticas. Os ângulos de saída permitem que depois de uma separação inicial, a peça não torne a entrar em contacto com o molde, reduzindo substancialmente a força de extracção, o desgaste da peça e dificuldade na sua ejeção. Em geral, quanto maior for o ângulo de saída mais fácil será a extracção, contudo, em peças compridas, um ângulo demasiado grande pode significar uma alteração significativa na forma da peça, e por isso recomenda-se ângulos de saída com valores entre 0.5° e os 2°. Nas nervuras é comum utilizar-se ângulos de saída entre 1° e 2°.



e) Castelos

Os castelos são utilizados no projecto de peças em plástico destinados, essencialmente, a fixações e montagem de peças projectadas para futura desmontagem. A variedade mais comum consiste em projecções cilíndricas com furos destinados a receber parafusos, insertos de rosca ou outros tipos de *hardware* de fixação, podendo também ser usados para evitar a acumulação de material. No projecto dos castelos devem ser evitadas também as seções espessas, pois estas possuem um arrefecimento mais lento, levando à contracção deste e conseqüentemente à formação de chupados. Por essa razão os castelos devem ser projectados de maneira que as suas paredes sejam o mais finas possíveis, como representado na figura 11. No seu dimensionamento devem ser tidas em conta as regras de dimensionamento de nervuras, considerando que na generalidade, para qualquer tipo de furo cego, o comprimento não deve ser superior a 2.5 vezes o seu diâmetro.

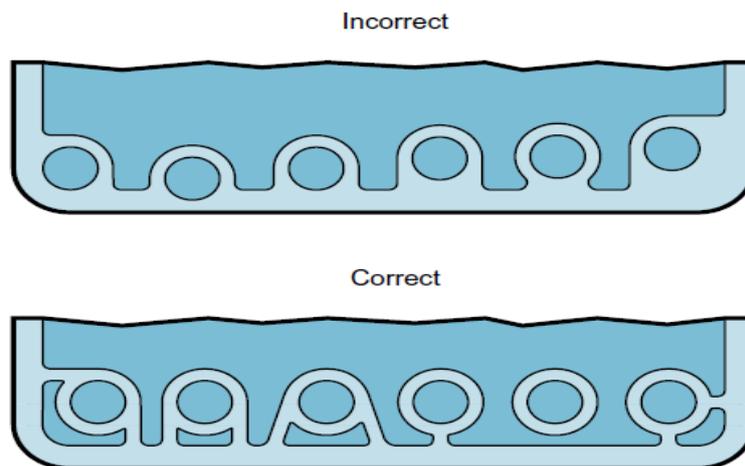


Figura 11- Desenho correcto dos castelos: conexão às paredes da peça.

4.5. Localização do ponto de injeção

Após a modelação e o projecto de uma peça, é importante também existir um estudo sobre a melhor localização para o ponto de injeção, pois a escolha incorrecta do tipo e da localização dos pontos de injeção, além de poder originar problemas no seu processamento, pode igualmente influenciar a qualidade das peças injectadas. A entrada do fluido deve ser posicionada de maneira a que o ar existente no interior do molde escape à medida que se dá o avanço do material, evitando a criação de linhas de união na peça. Para além disso os pontos de injeção deixam marcas bastante visíveis e por isso, estes não devem ser localizados em áreas da peça onde seja requerida uma boa qualidade superficial. Qualquer que seja a área dos pontos de



injecção, existe uma elevada solicitação mecânica imposta ao material nesse ponto (tensão de corte) que reduz consideravelmente o nível das propriedades dos materiais plásticos nessa secção. Num molde de uma só cavidade, este deve estar localizado de uma forma simétrica com o eixo do bico de injecção de maneira a poder assegurar uma distribuição uniforme na pressão de injecção e no fecho. Nos moldes de cavidades múltiplas, e pelas mesmas razões, estes devem ser localizados simetricamente à bucha. Uma vez que os moldadores dispõem de poucos recursos de prever essas consequências indesejáveis por optimização dos parâmetros do processo, são utilizados softwares de simulação que permitem uma previsão da sua melhor localização de maneira a evitar possíveis más decisões e consequentemente custos elevados [13] [20].

Capitulo III- Desenvolvimento preliminar do produto



1. Funcionalidade e especificações preliminares do produto

Para dar início ao desenvolvimento de um produto é necessário ter em consideração algumas funcionalidades e especificações que terão de ser consideradas e respeitadas ao longo do projecto. Estas dizem respeito, nesta fase inicial, ao produto na sua generalidade, funcionando como suporte inicial para a etapa de *design* e determinação de uma solução construtiva para o produto, não sendo alusivas especificamente aos componentes que poderão fazer parte deste. Os possíveis componentes serão analisados mais pormenorizadamente no decorrer do projecto.

A funcionalidade pode ser vista como um conjunto de características que descrevem o produto e indicam a sua finalidade, tendo em conta as necessidades do mercado-alvo. O novo sistema de abertura de portas pensado neste projecto, requer a acção do pé para a sua abertura e é destinado às portas existentes em casas de banho públicas, nomeadamente nos compartimentos individuais, podendo ser também adaptado em ambientes hospitalares e/ou ambientes industriais, onde existe uma grande probabilidade de contaminação e transmissão de bactérias. Este tem o objectivo de reduzir o contacto das mãos nesses locais, permitindo também a abertura/trancamento da porta de forma eficaz comparativamente aos sistemas já utilizados.

Por outro lado, o termo “especificações do produto” é referente a um conjunto de requisitos que o produto deve cumprir a fim de satisfazer as necessidades do cliente, podendo ser acompanhado de valores e medidas de valor, sendo que este pode ser um número concreto, um intervalo ou um limite [21]. O método da definição das especificações procura ajudar a definir o problema do projecto, deixando uma base de manobra suficiente para se encontrarem soluções satisfatórias. Uma especificação define um desempenho requerido, mas nunca o produto que se pretende [22]. Estas especificações preliminares, relativas ao sistema de abertura de portas accionado pelo pé, são apresentadas de seguida.

- **Incorporação de material termoplástico;**
- **Dimensões adequadas:** as dimensões devem ter em conta o tamanho do pé de modo a poder ser utilizado por a generalidade da população (recurso às tabelas biométricas relativas ao percentil do pé) e pensadas de maneira a poder ser adaptadas às portas já existentes neste tipo de locais;
- **Assegurar a abertura da porta de forma mecânica;**
- **Capacidade de retrofitting;**



- **Boa resistência mecânica:** 1500-2000 N. Esta é fundamental para suportar os elevados esforços a que vai estar sujeito o produto, não só pela força aplicada durante a sua montagem, mas também devido aos esforços que o produto estará sujeito durante a sua vida útil, nomeadamente à força aplicada pelo pé que implica uma resistência um pouco superior à dos produtos que utilizam só a mão;
- **Elevada rigidez:** 1-3 GPa;
- **Resistência à fadiga:** 100 ciclos/mês a uma tensão e 2000 N;
- **Resistência ao desgaste;**
- **Resistência química;**
- **Absorção de água:** 10% a 30%;
- **Boa estabilidade dimensional:** é importante ter uma boa estabilidade dimensional, a fim de evitar o risco de ter problemas na funcionalidade e na abertura da porta.
- **Temperatura de serviço:** -10°C a 80°C;
- **Auto extingüível;**
- **Preço:** 20-70€.
- **Peso máximo admissível:** 200Kg
- **Peso mínimo:** 30 Kg. Este peso é especificado de forma a que só possa ser utilizado por crianças acima de determinada idade.

De forma a facilitar a atribuição de especificações para o produto em questão foi feita uma análise mais pormenorizadas das necessidades do mercado e respectiva relação do novo sistema de abertura de portas com os produtos já existentes, utilizado a ferramenta de QFD (*Quality Function Deployment*). Esta é uma ferramenta de planeamento, comunicação e documentação, que permite uma abordagem sistemática para o *design*, engenharia e desenvolvimento de produtos ou serviços numa organização. O QFD é realizado por equipas multifuncionais, que traduzem a “voz do cliente” em especificações, utilizando diagramas de matriz, que permitem um confronto da capacidade do produto com os produtos já existentes no mercado, com o objectivo de satisfazer esses requisitos. O QFD referente ao sistema de abertura de portas alternativo accionado pelo pé destinado para espaços públicos encontra-se ilustrado no anexo 1.



2. Conceito de *Design*

A constante inovação e introdução de novos produtos no mercado é fundamental para a competitividade, prosperidade e sobrevivência de uma empresa, sendo o *design* uma área cada vez mais importante no processo de desenvolvimento de produtos inovadores. O *design* do produto é muitas vezes relacionado com a aparência deste, no entanto, este não só envolve a adição de características agradáveis ao produto final, mas também a realização e criação de um objecto atraente, útil, ergonómico e funcional. Portanto, o *design* desempenha um papel importante tanto na criação e desenvolvimento do processo de novos produtos, bem como na sua funcionalidade, estética, ergonomia e usabilidade. Contudo não é de esperar nesta fase uma solução final de projecto, mas sim a compreensão das necessidades e oportunidades para iniciar geração do produto [23].

2.1. Conceitos iniciais: geração de conceitos

A etapa de geração de conceitos permite obter uma grande quantidade de conceitos de estilo que resulta na obtenção de uma diversidade de soluções criativas para o produto em questão. Através de um processo criativo, a equipa de *design* da EDIN foi responsável pela geração destes conceitos, que correspondem a esboços de possíveis soluções que respondem às necessidades e especificações identificadas. Os esboços correspondentes às soluções gerados neste projecto para a definição inicial do sistema de abertura de portas accionado pelo pé, são somente soluções iniciais e podem ser consultados no anexo 2.

Após a geração de diferentes soluções para o sistema de abertura de portas alternativo, é necessário então proceder à selecção do conceito que possui as características mais atractivas e que poderá vir a acrescentar valor ao mercado.

2.2. Selecção do Conceito final

A selecção do conceito com maior potencial é uma parte integrante do desenvolvimento de produtos e baseia-se num processo de avaliação dos diversos conceitos tendo em conta o cumprimento das necessidades dos clientes, das especificações do produto, bem como outros critérios definidos pelo projectista, comparando os seus pontos fortes e fracos. A escolha da



solução final pode ser feita por palpite, por “intuição, ou por decisão arbitrária, no entanto, geralmente o projectista, bem como todos os restantes intervenientes, sentem-se mais seguros se a escolha resultar de um procedimento mais racional. Por esta razão a selecção consistiu na utilização de métodos de selecção que utilizam critérios definidos tendo em conta as características que se pretendia obter no produto final [22]. É de realçar que os critérios seleccionados bem como algumas das decisões e/ou atribuições de valores resultaram de um estudo de mercado nomeadamente de questionários online. O modelo do questionário online encontra-se no anexo 3, sendo que a análise dos respectivos questionários e a obtenção de conclusões que permitiram esta selecção do conceito final foi feita durante o projecto individual [1].

Neste processo de desenvolvimento de um sistema de abertura de portas accionado pelo pé, é utilizado o método convergente de Pugh, desenvolvido por Stuart Pugh na década de 1980, que utiliza matrizes de decisão/selecção com o objectivo de classificar e avaliar os conceitos e chegar á obtenção do melhor conceito de *design* [21]. Antes de proceder à classificação e respectiva selecção dos conceitos é necessários definir critérios, que permitam fazer uma comparação entre os diversos conceitos e obter aquele que poderá corresponder às necessidades e requisitos dos clientes. Estes critérios encontram-se descritos na tabela 3, e para cada um dos conceitos gerados (conceitos de A a K) é feita uma avaliação segundo esses critérios de maneira a perceber de que forma é que cada um desses conceitos satisfaz melhor, pior ou de igual forma estes critérios comparativamente com os produtos já existente, utilizando um código simples (+ para “melhor que”, 0 para “da mesma forma que” e - para “pior que”). A pontuação é feita subtraindo o número de códigos “-“ ao número de códigos “+”. É importante salientar que esta avaliação foi feita tendo em conta uma reunião realizada na empresa por todos os elementos da equipa da EDIN, onde subsistiu um debate acerca das possíveis soluções para cada um dos conceitos, sendo que a explicação para a atribuição do código “-”, “0” e “+” para cada um dos critérios encontra-se no anexo 4 [24].

Tabela 3 – Matriz de decisão utilizando o método de selecção de conceitos de Pugh: Triagem de conceitos.

Critérios	Conceitos										
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Utilização da mão reduzida/inexistente	0	0	+	+	+	+	+	0	+	+	+



Permite o trancamento da porta/ inovação	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Produzido maioritariamente por material plástico	+	+	0	0	0	0	+	+	0	0	0
Ergonómico	-	-	-	-	+	0	+	-	0	-	-
Capacidade de retrofitting	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Movimentos reduzidos	0	0	0	0	+	-	0	0	0	-	0
Abertura rápida	0	0	-	0	+	0	0	0	+	0	+
Somatório +'s	1	1	1	1	4	1	3	1	2	1	2
Somatório -'s	1	2	2	1	0	2	0	1	0	2	1
Somatório 0's	5	4	4	5	3	4	4	5	5	4	4
Pontuação	0	-1	-1	1	4	-1	3	0	2	-1	1
Continuar?	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Sim
Classificação					4		3		2		2

A fase de triagem realizada anteriormente, pode ser vista como uma pré-selecção dos conceitos, onde são seleccionados apenas os conceitos que possuem uma pontuação > 0. No entanto é necessário fazer uma nova avaliação aos conceitos resultantes, desta vez tendo em conta o peso de cada critério, de modo a seleccionar apenas o conceito com maior potencial, sendo que o peso de cada um foi atribuído em conformidade pela equipa da EDIN. A classificação do conceito em cada um dos critérios é então obtida pela multiplicação do peso de cada critério pelo nível de satisfação do conceito em relação ao critério, atribuindo valores entre 1 e 5, sendo que 1 satisfaz pouco o critério e 5 satisfaz bastante. A pontuação final é obtida pelo somatório da pontuação obtida em cada um dos critérios em cada conceito. O conceito com melhor classificação será o com maior probabilidade de vir acrescentar valor ao mercado. Esta avaliação está apresentada na tabela 4. A explicação da atribuição de valores entre 1 e 5 para cada um dos conceitos encontra-se no anexo 5.

Tabela 4- Matriz de selecção de conceitos.

Critérios	Peso	Conceito							
		E		G		I		K	
		Nível Satisf.	Pont.						
Prevenir a utilização da mão /utilização inexistente	25%	4	1	4	1	3	0,75	2	0,5



Permite trancamento da porta/ inovação	10%	4	0,4	4	0,4	4	0,4	4	0,4
Produzido maioritariamente por material plástico	15%	4	0,6	4	0,6	3	0,45	4	0,6
Ergonómico	20%	5	1	3	0,6	4	0,8	3	0,6
Retrofitting	5%	4	0,2	3	0,15	3	0,15	3	0,15
Movimentos reduzidos	15%	5	0,75	4	0,6	2	0,3	4	0,6
Abertura rápida	10%	4	0,4	4	0,4	4	0,4	4	0,4
Total	100%		4,35		3,75		3,25		3,25
Classificação			6		5		3		3
Continuar?			Sim		Não		Não		Não

Uma vez que o conceito com melhor pontuação foi o conceito E, exibido na figura 12, este será o ponto de partida para o desenvolvimento de um sistema de abertura de portas accionado pelo pé destinado para espaços públicos.

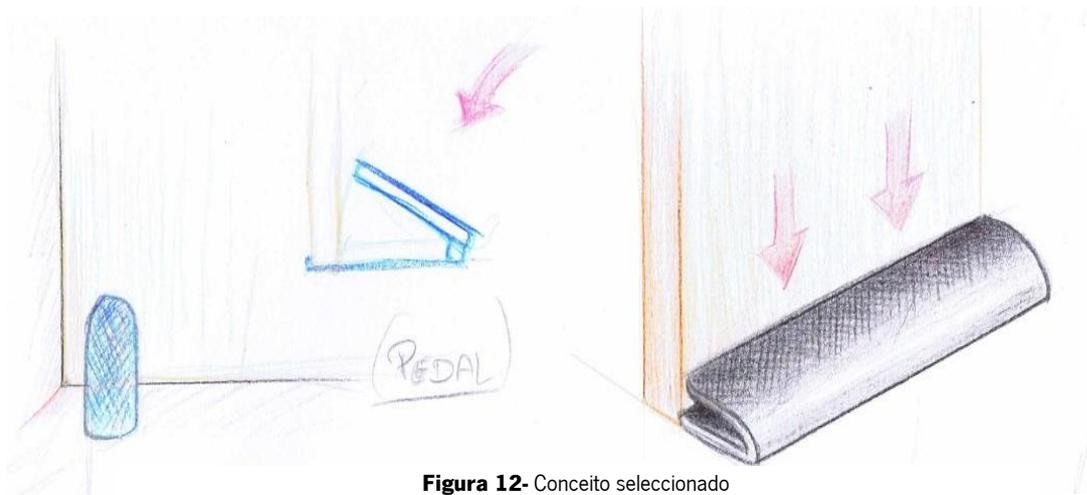


Figura 12- Conceito seleccionado



Capitulo IV - Projecto mecânico



1. Solução construtiva: desenvolvimento do conceito

Partindo do conceito de estilo seleccionado primitivamente é necessário pensar numa solução construtiva que seja a resposta para o “problema” em questão. Esta solução reconhece o funcionamento do produto na sua generalidade, bem como a estrutura ideal de cada um dos componentes, de modo a permitir a abertura/trancamento da porta de casas de banho públicas, reduzindo ou anulando por completo a necessidade da utilização dos membros superiores, nomeadamente as mãos.

Uma vez que este conceito é de certa forma original, não existindo ainda nenhum produto no mercado que se assemelhe, na sua generalidade, ao conceito apresentado aqui, e que pudesse funcionar como ponto de partida para o desenvolvimento deste, foi necessária uma abordagem profunda de maneira a pensar de raiz numa possível solução para o funcionamento do sistema de abertura de portas, utilizando, porém, mecanismos já empregues normalmente e pondo em prática o “pensamento de engenheiro”. Para além de ser um conceito original, este foi pensado também para incorporar material plástico, tornando a tarefa um pouco mais desafiadora, pois este tipo de materiais é frequentemente utilizado em aplicações onde a resistência a cargas aplicadas e/ou deformações máximas são considerações importantes, exigindo um processo mais controlado.

Após um procedimento racional, surgiu então numa solução geral para o desenvolvimento de um sistema de abertura de portas accionado pelo pé, composta por diversos componentes e mecanismos. Os esboços que deram resultado à solução construtiva pensada e seleccionada para este projecto e que podem facilitar na compreensão desta solução, estão presentes no anexo 6. Na figura 13 é também possível visualizar uma modelação da solução construtiva, sendo esta ainda primitiva, não tendo em conta possíveis modificações, dimensionamento ou até certas regras de projecto que serão consideradas para tornar o produto mais eficiente. Para mostrar o produto foi utilizada uma cabine, geralmente utilizada nas casas de banho públicas, que, de forma a poder visualizar todo o conteúdo interior foi tornada transparente. É importante também mencionar que a solução construtiva foi pensada tendo em conta regulamentos recentes que ditam que a abertura de uma porta deve ser feita de dentro para fora, tal como está ilustrado na imagem a seguir.



Figura 13- Solução construtiva para o sistema de abertura de portas accionado pelo pé.

Esta solução construtiva consiste na abertura/fecho da porta através da actuação de um pedal, sem a necessidade de qualquer outro contacto, a não ser pelo pé. O movimento do pedal permite também trancar e destrancar a porta. A ideia é o sistema manter a porta aberta pelo menos a 45° de forma a facilitar a entrada a qualquer pessoa sem ser necessário puxar ou empurrar esta para entrar, e ao mesmo tempo não incomodar a movimentação na parte exterior, uma vez que a abertura da porta terá de ser feita de dentro para fora. Para fechar e trancar basta apertar o pedal. Para voltar a sair basta apertar novamente o pedal e a porta deslocar-se-á novamente à sua posição de abertura (45°) e permanecerá nessa posição até que o pedal volte a ser pressionado. De maneira a facilitar a compreensão dos mecanismos utilizados a solução para o sistema de abertura de portas accionado pelo pé foi dividida em três outros sistemas: Pedal, sistema de abertura (responsável pelo manuseamento da porta) e sistema de trancamento (que permite o bloqueio da porta). No entanto só os componentes que não são susceptíveis de ser substituídos por elementos *standart* já existentes no mercado é que serão projectados, os restantes elementos serão então adquiridos no mercado, consoante as dimensões e características disponíveis. Todos os componentes (projectados ou adquiridos externamente), bem como as suas funções serão apresentados de seguida. Os componentes apresentados serão somente modelações iniciais, sendo que ao longo do projecto estas serão aprimoradas.



1.1. Identificação dos Componentes

1. “Pedal”

O sistema de pedal é o único que entra directamente em contacto com o utilizador e é o meio de ligação aos outros dois sistemas, sendo que o seu manuseamento é responsável pela abertura/fecho e trancamento da porta. A representação do sistema pedal encontra-se na figura 14.

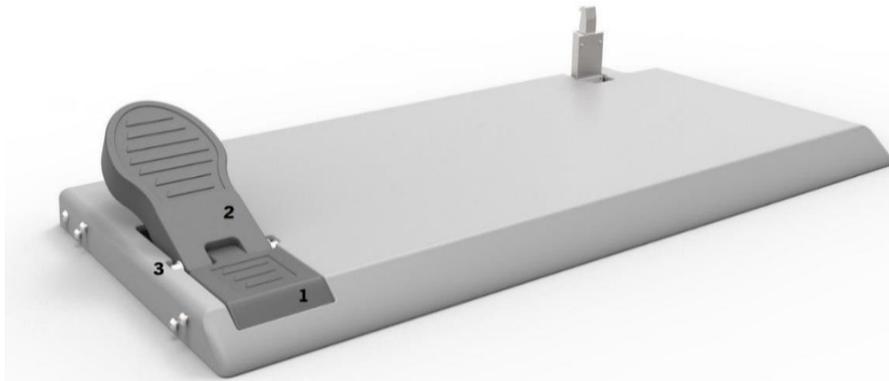


Figura 15- Sistema: Pedal.

O pedal é movimentado pela pressão exercida pelo pé. Quando este é pressionado uma vez, mantém-se fixo na mesma posição, sendo que só volta a deslocar-se quando se pressiona de novo, funcionando com um mecanismo de “click”. Esse mecanismo é possibilitado por uma geometria existente na base (como ilustrado na figura 15), que contem um pino que se movimenta ao longo dessa geometria. O pedal é ligado ao pino por uma placa de união, sendo que o pedal ao ser pressionado, obriga o pino a seguir a geometria e permite a sustentação deste.

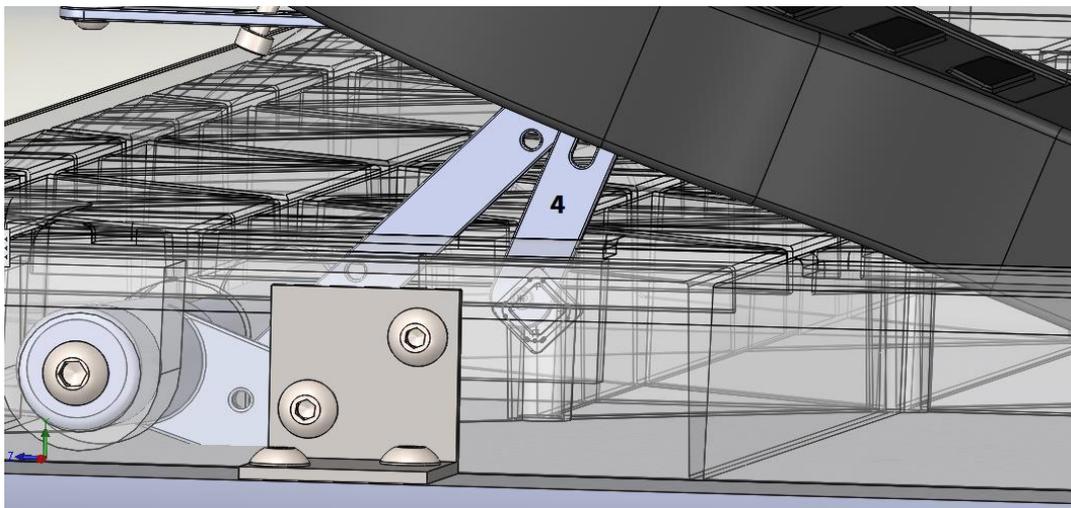


Figura 14 – Mecanismo “click”: parte existente na base que permite este mecanismo.



Os componentes projectados, e a os adquiridos no mercado, como a respectiva legenda da imagem anterior estão representados na tabela 5 e 6, respectivamente.

Tabela 5 – Lista de componentes projectados para o sistema de pedal.

Componentes projectados	Modelação	Função
1. <u>“Pedal 1”</u>		Permite a colocação do calcanhar de maneira a poder manusear o resto do pedal. Facilita a movimentação do pedal 2.
2. <u>“Pedal 2”</u>		Responsável pelo manuseamento e trancamento da porta. Possui ligação aos dois sistemas.

Tabela 6 – Lista de componentes adquiridos para o sistema de pedal.

Componentes Externos	Nº	Modelação /Imagem	Função/ Características
3. <u>Parafuso de união</u> (ISO 4162_M8x80x22)	1		Ligar o pedal 1 ao pedal 2, permitindo o movimento do pedal 2.
4. <u>Placa de união</u> LEROY MERLIN - Ferragens [Utiliza parafuso que liga ao caminho existente na base : <i>Socket head cap screw</i> (ISSO 4762 M3x16)]	1		Liga o pedal à base e permite o efeito “click”, fazendo com que o pedal só volte a subir quando se voltar a pressionar este.



2. Sistema de abertura/fecho

O sistema de abertura/fecho é responsável pelo manuseamento da porta, permitindo a sua abertura e fecho. A figura 16 ilustra o funcionamento deste sistema. Para a abertura e fecho da porta será necessário em primeiro lugar um tubo comprido disposto na vertical com ligação à porta através de “articulações”. Este tubo é também ligado ao pedal através de uma placa de união para que quando o pé clica no pedal este faça descer o tubo que passa entre as chumaceiras. Para que seja possível que, ao se deslocar verticalmente, o tubo rode e consigo movimento a porta, este possui um pino saliente que percorre um caminho rotacional existente no interior da chumaceira (feito após adquirir esta no mercado). A consulta ao anexo 7 permite perceber melhor este mecanismo associado à rotação do cilindro. O pedal ao “puxar” o tubo para baixo ou para cima vai forçar o pino a percorrer o caminho que faz com que o tubo gire em torno de si mesmo e com ele mova as articulações que puxam a porta.

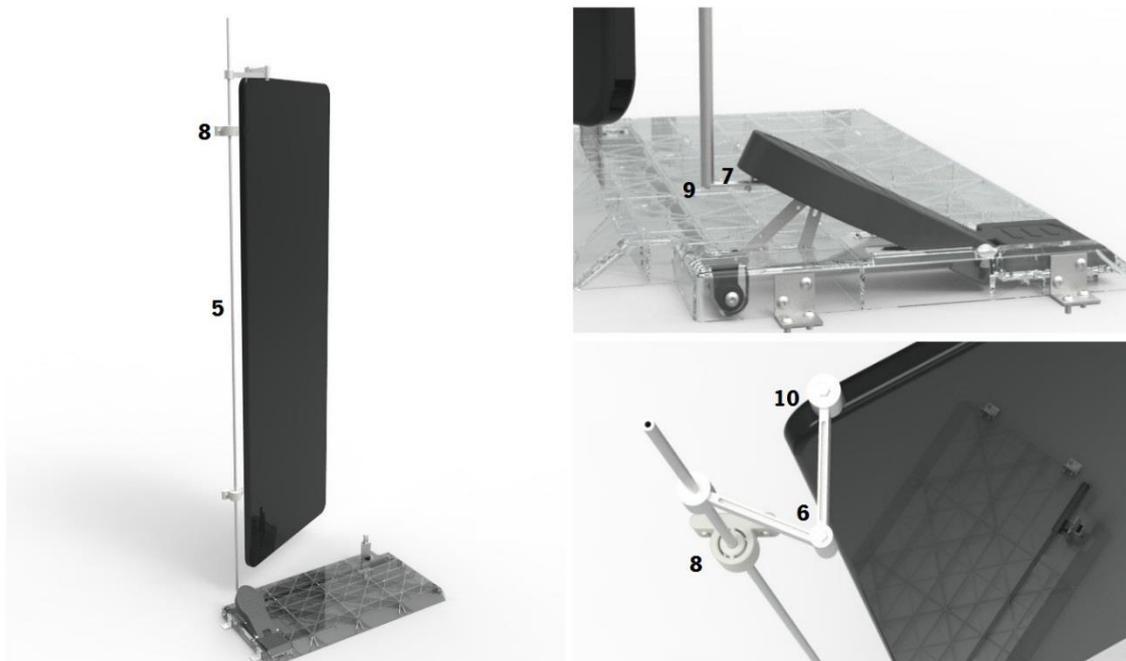
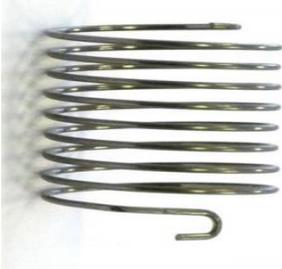


Figura 16 – Sistema de abertura/fecho da porta.

Para este sistema não serão projectados componentes, sendo que este será composto unicamente por elementos já existentes no mercado com determinadas dimensões. Os componentes adquiridos, bem como a quantidade necessária, a sua ilustração e a função de cada um deles está representada na tabela 7.



Tabela 7 – Lista de componentes adquiridos para o sistema de fecho/abertura.

Componentes Externos	Nº	Modelação /Imagem	Função
5.Tubo comprido Diâmetro: 10 mm	1		Tubo vertical que liga a porta ao pedal e que permite que o clique do pedal permita manusear a porta.
6.“Articulações” Diâmetro: 10 mm	2		Liga a porta ao tubo. São necessárias duas articulações ligadas por um parafuso.
7.Placa de união	1		União: cilindro-pedal
8.Chumaceira <i>Chumaceiras igubal®</i>	2		Compensam desalinhamentos e possíveis deflexões no veio. Estas ..que para além de guiar o tubo permitirá que este rode sobre si.
9.Mola de torção	1		A mola de torção será localizada no cilindro vertical e será colocada de maneira a facilitar a abertura da porta. Porta fechada → Comprimida. Porta aberta → Relaxada
10.Parafusos (ISO 4162_M8x80x22)			Fixar os componentes



3. Sistema de trancamento

O sistema de trancamento permite o bloqueio da porta quando esta é fechada através da subida de um trinco. A figura 17 ilustra o funcionamento e constituição deste sistema. Quando o wc está livre a porta encontra-se aberta, sendo que para fechar é necessário apertar o pedal. Este pedal encontra-se ligado através de barras de união, ao cilindro que serve de ligação do pedal ao trinco. A descida do pedal faz rodar o cilindro que permite que o trinco suba e tranque a porta ao mesmo tempo que esta regressa à posição de fecho, sendo que o pedal é sustido nessa posição. Ao voltar a apertar o pedal esta volta a subir e o trinco desce permitindo então que o sistema de abertura/fecho movimente a porta para a posição de abertura. O trinco foi escolhido com uma estrutura inclinada de forma a facilitar a “recepção” da porta. Este possui também, na parte inferior, uma mola que permite que este, mesmo que já esteja na sua posição de trancamento, desça ligeiramente quando a porta entra em contacto e volte à sua posição (relaxação da mola) quando encontra a abertura existente na parte inferior da porta, destinada a ele e que permite que esta fique trancada.



Figura 17- Sistema de trancamento.

Para este sistema serão projectados três componentes, e os restantes serão adquiridos no mercado, tendo em conta determinadas dimensões. A lista dos componentes projectados, bem como a dos adquiridos externamente componentes adquiridos, esta presente na tabela 8 e 9, respectivamente.



Tabela 8- Lista de componentes projectados para o sistema de trancamento.

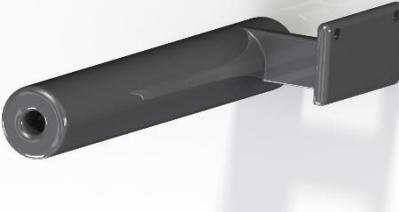
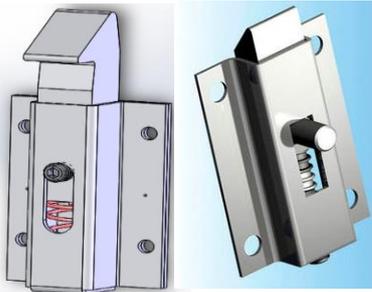
Componentes projectados	Modelação	Função
11. <u>Base “pedal</u>		A base contém todo o mecanismo que liga o pedal ao trinco e permite o trancamento desta, para além de permitir a passagem do utilizador.
12. <u>Cilindro 1</u>		Permite a ligação do cilindro ao pedal que faz com que quando este se movimenta o cilindro principal rode, e gire também o cilindro ligado ao trinco.
13. <u>Cilindro 2</u>		Permite a ligação do cilindro ao trinco. Quando o cilindro principal gira devido ao deslocamento do pedal este gira também e faz movimentar o trinco.

Tabela 9 - Lista de componentes adquiridos para o sistema de trancamento.

Componentes Externos	Nº	Modelação /Imagem	Função
14. <u>Tubo metálico</u> Grupo FERPINTA: TIPO LIGEIRA 2 EN 10255 Preto S235JR Designação do aço, Roscado com união - D=17,2 mm	1		Liga ambos os cilindros modelados e permite a relação entre o pedal e o trinco. (quando o pedal se movimenta o trinco sobe ou desce)



<p>15.<u>Trinco</u></p>	<p>1</p>		<p>Responsável pelo trancamento da porta</p>
<p>16.<u>Placa de Junção</u> IKEA: Placa inoxidável 100 mm</p>	<p>1</p>		<p>Liga o pedal 2 ao cilindro, permitindo que quando se pressiona o pedal, o cilindro 1 rode, movimentando também o trinco.</p>
<p>17.<u>Esquadros</u> IKEA: Esquadro largo 30X30X30MM K2</p>	<p>4</p>		<p>Permite a união da base ao chão, sendo com parafusos adequados.</p>
<p>18.<u>Parafusos: Socket button head screw</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • ISO 7380 M3x6 • ISO 7380 M6x10 • ISO 7380 M5x10 	<p>2 2 16</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Utilizados nas placas de união; • União dos cilindros à base; • Utilizado nos esquadros.

2. Definição da técnica de processamento, especificações e selecção de materiais

Uma vez que os plásticos são mais sensíveis que os metais, no que se refere às falhas de projecto, deve ser dedicada uma grande atenção às etapas de selecção das técnicas de processamento e do material correcto. A obtenção de uma boa peça em plástico só pode ser garantida através de um processo de optimização rigoroso que tenha em conta todas as características do produto final pretendido. O projecto, na sua íntegra deve, consequentemente, começar pela análise minuciosa e exacta, de todos os requisitos e todas as condições de aplicação.



O método de fabrico possui uma grande influência na geometria do produto, por isso é necessário ponderar à cerca das características geométricas pretendidas para cada um dos componentes de forma a seleccionar a técnica ideal que permita obter o produto final desejado. Outro factor importante para a obtenção de um produto de elevado desempenho é a selecção do material mais adequado. Para isso, é importante ter em conta os requisitos a cumprir, de acordo com as especificações definidas para cada um dos componentes projectados. Uma vez que no capítulo anterior as funcionalidades e especificações foram relativas ao produto na sua generalidade, neste serão definidos os requisitos para cada um dos componentes desse mesmo produto, que estão a ser projectados neste trabalho. Embora estas especificações sejam baseadas nas especificações mais gerais referentes ao produto, serão mais focadas nas peças em questão. Neste projecto foi utilizada uma metodologia que serve de orientação na selecção da matéria-prima adequada, para além de facilitar a compreensão desta etapa por parte de elementos externos ao projecto. Esta metodologia pode ser visualizada na figura 18 [1].

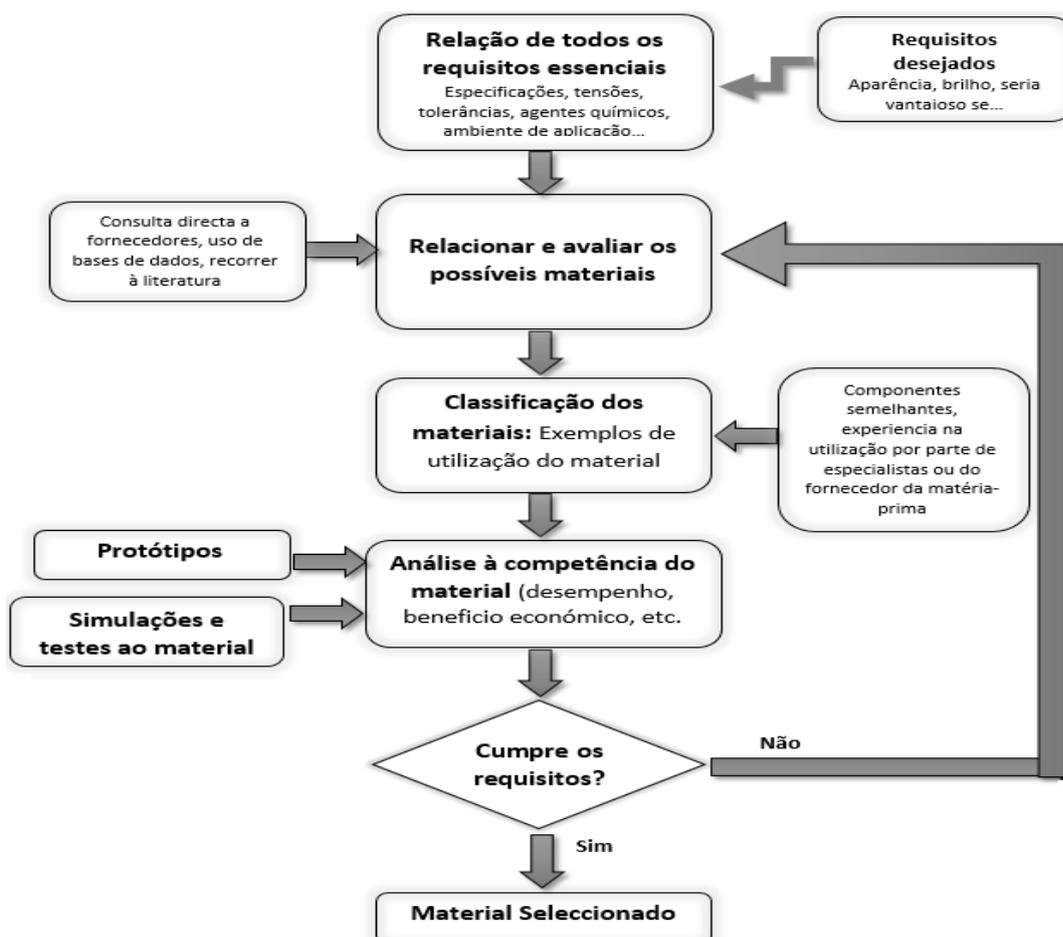


Figura 18- Processo de selecção de materiais utilizado para o sistema de abertura de portas alternativo.



2.1. Pedal 1/Pedal 2

O pedal 1 e 2 serão analisados em conjunto uma vez que só foram projectados individualmente por uma questão de funcionalidade e movimentação do “pedal” em si, mas na realidade funcionam como um só. Por estas razões possuem as mesmas características e especificações que irá resultar na selecção do mesmo material para ambos os componentes. Por uma questão de simplificação a análise das especificações e respectiva selecção do material foi então feita em conjunto para os dois componentes.

2.1.1. Técnica de processamento

Antes de proceder á selecção da técnica de processamento mais adequado, foi tido em conta os seguintes requisitos que o produto deve cumprir:

- **Tolerâncias dimensionais apertadas:** como ambos os componentes estão ligados um ao outro é necessário seleccionar uma técnica que permita tolerâncias dimensionais apertadas e por sua vez um bom funcionamento.
- **Peças com geometrias complexas:** Devido às áreas de curvatura e nervuras que podem fazer parte da estrutura interna dos componentes é necessário que a técnica permita a obtenção de uma peça de elevada complexidade;
- **Bom acabamento superficial:** como o produto é destinado a espaços públicos é necessário um acabamento superficial aceitável de maneira a torna-lo visualmente agradável.
- **Possibilidade de incorporar inserções metálicas durante o processamento:** uma vez que o sistema do produto é, na sua totalidade mecânico, pode ser necessária a incorporação de inserções metálicas que facilitem o funcionamento do produto
- **Processo de elevada reprodutibilidade:** possibilidade de produzir cerca de 10 000 peças por ano (de cada);
- **Baixo custo (série alta produção).**

Tendo em conta todos estes factores, a técnica de processamento mais adequada para produzir este componente do sistema de abertura de portas accionado pelo pé é a moldação por



injecção. Esta técnica é usada para as produções em larga escala, e permite a produção de peças com elevadas tolerâncias dimensionais e alta complexidade, para além de permitir um bom acabamento superficial.

2.1.2. Definição das Especificações

As especificações definidas para os componentes em análise são as seguintes:

1. **Moldação por injecção;**
2. **Boa resistência mecânica:** 1500-2000 N. Ambos os componentes necessitam de uma boa resistência mecânica que permita que estes sustentem o peso de uma pessoa.
3. **Elevada rigidez:** 1-3 GPa;
4. **Resistência à fadiga:** 100 ciclos/mês a uma tensão de 2000 N. Uma vez que estão ambos sujeitos a inúmeras utilizações durante o dia/mês é necessário estarem preparados para aguentar diversos ciclos a uma determinada tensão;
5. **Resistência ao desgaste:** Produtos sujeitos à utilização com o pé podem estar mais sujeitos ao desgaste, devido ao atrito causado entre o calçado e o “pedal”;
6. **Elevada resistência química a solventes, óleos, graxa e produtos químicos:** devido ao contacto com o calçado existe a possibilidade de estes componentes contactarem com óleos, graxas ou outro tipo de solventes que pode existir no calçado. Por outro lado, devido à necessidade de uma limpeza frequente deste tipo de produtos estes devem possuir uma resistência química;
7. **Densidade:** 1200-1500 Kg/m³;
8. **Boa estabilidade dimensional:** é necessário evitar que qualquer tipo de alteração nas condições ao ponto de prejudicar a relação entre eles e por sua vez a movimentação do pedal que permite a abertura da porta;
9. **Absorção de água:** 10% a 30%;
10. **Temperatura de serviço:** Temperatura de serviço de -10°C a 80 °C;
11. **Deflexão do material:** ≤ 1 mm. Só é admissível componentes com deformações abaixo de 1 mm;



- 12. Auto extingüível;**
- 13. Resistência à hidrólise;**
- 14. Custo de produção:** [1,00- 5,00] €. sendo que o pedal 1 possui um custo mais reduzido do que o pedal 2, mas ambos devem encontrar-se dentro do intervalo de valores;
- 15. Peso máximo e mínimo admissível: 35 a 200 Kg**

2.1.3. Selecção do material

Depois de definidas aos requisitos a que o material deve obedecer, procede-se à realização de uma matriz de ponderação, de modo a determinar quais as especificações relevantes para a selecção de materiais com maior importância, sendo atribuídos os valores 0, 1 e 2, consoante uma especificação seja de menor, igual ou maior importância, respectivamente, em comparação a outra. Esta hierarquia permite, em caso de indecisão, ajudar na selecção do material a adoptar. A matriz de ponderação para esses dois componentes encontra-se na tabela 10. Os valores atribuídos e os resultados da matriz foram obtidos tendo em conta as impressões e considerações dos elementos presentes no projecto acerca da importância de cada especificação considerando aquilo que é pretendido como resultado final. É de notar que somente as especificações necessárias à selecção de materiais é que foram consideradas na matriz.

Tabela 10- Matriz de ponderação das especificações para a selecção do material do pedal 1 e 2.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	13	14	Σ
1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
2	1		2	2	2	1	2	1	2	2	1	2	2	20
3	1	0		2	2	1	2	1	2	2	1	2	2	18
4	1	0	0		1	1	2	1	2	2	1	2	2	15
5	1	0	0	1		0	2	1	2	2	1	2	2	14
6	1	1	1	1	2		2	1	2	2	2	2	2	19
7	1	0	0	0	0	0		0	0	1	0	1	1	4
8	1	1	1	1	1	1	2		2	2	2	2	2	16
9	1	0	0	0	0	0	2	0		2	1	1	2	9
10	1	0	0	0	0	0	1	0	0		0	0	1	3
12	1	1	1	1	1	0	2	0	1	2		2	2	14
13	1	0	0	0	0	0	1	0	1	2	0		1	6
14	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1		4



Na Tabela 10, é possível verificar que as especificações mais importantes são propriedades mecânicas (resistência mecânica) e a sua boa resistência química a solventes, óleos, graxa e outros produtos químicos, uma vez que, situado em espaços públicos, este produto necessita de uma limpeza/desinfestação mais forte e regular. Da mesma forma, segue-se a necessidade de uma elevada rigidez e uma boa estabilidade dimensional, de modo a não prejudicar o funcionamento do sistema.

Após ter uma ideia das características mais importantes para o desenvolvimento do produto, foram introduzidas todas as especificações na base de dados *CAMPUS PLASTIC*, onde é possível obter uma variedade de possíveis materiais (materiais genéricos numa primeira fase) que se adaptem às propriedades e respectivos intervalos, definidos nas especificações. A pesquisa foi efectuada em três fornecedores, sendo que o escolhido foi o que apresentou maior diversidade de materiais. Recorrendo então ao *software*, as matérias-primas sugeridas por este foram PA6, PA6.6 (com e sem fibras de vidro) e PP reforçado com fibras de vidro. No entanto antes de optar por um destes materiais é feita uma pesquisa de forma a perceber quais os materiais utilizados nos produtos já existentes que possuem funções semelhantes e que permita fazer uma comparação com os seleccionados na base de dados. Desta forma é possível sustentar o processo de selecção, aumentando a probabilidade da selecção da melhor matéria-prima. Essa comparação está apresentada na tabela 11.

Tabela 11- Comparação dos materiais utilizados nos produtos já existentes.

<i>Produto</i>	<i>Material</i>
<i>Maçaneta em plástico</i>	PA, SAN, PP
<i>Pedal em plástico</i>	PA
<i>Trinco</i>	Aço

É possível concluir que a Poliamida (PA) já é bastante utilizada em produtos com funções semelhantes existentes no mercado, como é o caso da maçaneta em plástico e do pedal, muito possivelmente devido as suas características como, a elevada rigidez, resistência ao impacto, boas propriedades de atrito e resistência ao desgaste (a PA6.6 tem a maior resistência mecânica e ao desgaste do que a PA 6), para além da resistência ao petróleo, à gasolina, e aos numerosos solventes. Por outro lado, o PP possui uma resistência ao impacto mais baixa, sendo também um material inflamável não aconselhável quando utilizado em situações que seja necessária uma



segurança maior (índice de oxigénio 17,4%). Por todas estas razões é possível concluir que a Poliamida possui características mais interessantes, devido à sua combinação de propriedades mecânicas e de temperatura de serviço a preços relativamente aceitáveis, tendo em conta as especificações estabelecidas inicialmente. Após uma análise dos vários graus disponíveis pelo fabricante foi seleccionada então a seguinte matéria-prima:

Fabricante: *DuPont Engineering Polymers Europe*

Material: PA 6.6 30% GF

Grade: *Zytel 70G30HSL NC010*



A ficha técnica da respectivo material pode ser encontrada no site oficial da *DuPont*, no entanto parte integrante desse documento encontra-se no anexo 8.

2.2. Base

2.2.1. Técnica de processamento

Para a selecção da melhor técnica de processamento para a base foram consideradas os seguintes requisitos:

- **Peça de grandes dimensões:** a base terá de ter dimensões suficientes para incorporar parte do sistema e por isso é necessário que a técnica permita o fabrico de peças grandes.
- **Tolerâncias dimensionais apertadas:** como a base possui partes destinadas a integrar outros componentes é necessário seleccionar uma técnica que permita tolerâncias dimensionais apertadas que permitam esse “encaixe”.
- **Peças com geometrias complexas:** Devido às áreas de curvatura e nervuras que podem fazer parte da estrutura interna dos componentes é necessário a obtenção de uma peça de elevada complexidade;
- **Bom acabamento superficial:** como o produto é destinado a espaços públicos é essencial um acabamento superficial aceitável de maneira a torna-lo visualmente agradável.



- **Possibilidade de incorporar inserções metálicas durante o processamento:** uma vez que o sistema do produto é, na sua totalidade mecânico, pode ser útil a incorporação de inserções metálicas que facilitem o funcionamento do produto
- **Processo de elevada reprodutibilidade:** possibilidade de produzir cerca de 10 000 peças por ano (de cada);
- **Baixo custo (série alta produção).**

Tendo em conta todos estes factores, a técnica de processamento mais adequada para produzir este componente do sistema de abertura de portas accionado pelo pé é a moldação por injeção. Esta técnica permite a obtenção de um componente de grandes dimensões, e complexidade elevada.

2.2.2. Definição das Especificações

Para a selecção do material mais adequado para a base foram então definidas as seguintes especificações:

1. **Moldação por injeção;**
2. **Boa resistência mecânica:** 1500-2000 N. Uma vez que este será sujeito ao peso de (pelo menos) uma pessoa é necessária uma boa resistência mecânica de forma a resistir a essa solicitação.
3. **Elevada rigidez:** 1-3 GPa;
4. **Resistência ao desgaste:** como este entra constantemente em contacto com o pé a base pode estar mais sujeita ao desgaste, devido ao atrito causado entre o calçado e o “pedal” ou até mesmo devido à acumulação de lixo ou areias trazidas pelos sapatos;
5. **Elevada resistência química a solventes, óleos, graxa e produtos químicos:** devido ao contacto com o calçado existe a possibilidade de estes componentes contactarem com óleos, graxas ou outro tipo de solventes que pode existir no calçado. Por outro lado, devido à necessidade de uma limpeza frequente deste tipo de produtos estes devem possuir uma resistência química;
6. **Densidade:** 1200-1500 Kg/m³;
7. **Absorção de água:** 10% a 30%;



- 8. Deflexão do material:** ≤ 2 mm. Uma vez que as dimensões da base são maiores as deformações admissíveis para o material possuem um intervalo de valores mais alargado;
- 9. Temperatura de serviço:** Temperatura de serviço de -10°C a 80°C ;
- 10. Auto extingüível;**
- 11. Resistência à hidrólise;**
- 12. Peso mínimo e máximo admissível:** 35 a 200 Kg
- 13. Custo de produção:** [3,00-6,00] €.

Mais uma vez é de realçar que só as especificações importantes para a selecção de materiais serão utilizadas na matriz de ponderação.

2.2.3. Selecção do material

Depois de definidas aos requisitos a que o material deve obedecer, procede-se então à realização da matriz de ponderação, de modo a determinar quais as especificações com maior importância, A matriz de ponderação para esses dois componentes encontra-se na tabela 12.

Tabela 12 - Matriz de ponderação das especificações para a selecção do material da Base.

	1	2	3	4	5	6	7	9	10	11	13	Σ
1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
2	1		2	2	2	1	2	1	2	2	1	20
3	1	0		2	2	1	2	1	2	2	1	18
4	1	0	0	1		0	2	1	2	2	1	14
5	1	1	1	1	2		2	1	2	2	2	19
6	1	0	0	0	0	0		0	0	1	0	4
7	1	0	0	0	0	0	2	0		2	1	9
9	1	0	0	0	0	0	1	0	0		0	3
10	1	1	1	1	1	0	2	0	1	2		14
11	1	0	0	0	0	0	1	0	1	2	0	6
13	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	4

Na Tabela 12, é possível verificar que as especificações mais importantes são, mais uma vez as propriedades mecânicas (resistência mecânica) e a sua boa resistência química a solventes, óleos, graxa e outros produtos químicos, uma vez que, tal como os anteriores, a localização destes em espaços públicos, acarreta a necessidade de uma limpeza/desinfecção mais forte e regular.



Uma vez que o processo de selecção do material ideal para a base tem sido idêntico ao do pedal, após a introdução de todas as especificações da Base na base de dados *CAMPUS PLASTIC*, as matérias-primas sugeridas por este foram também PA6, PA6.6 (com e sem fibras de vidro) e PP reforçado com fibras de vidro. No entanto antes de optar já por um destes materiais ou de seguir o material seleccionado nos componentes anteriores, foi feita também uma pesquisa de forma a perceber quais os materiais utilizados nos produtos já existentes que possuem funções semelhantes, neste caso à base, e que permita fazer uma comparação com os seleccionados na base de dados. Essa comparação está apresentada na tabela 13.

Tabela 13 - Comparação dos materiais utilizados nos produtos já existentes.

Produto	Material
Paletes em plástico	PE (baixa e alta densidade)
Base de guarda-sol	PE, PP

Embora estes ultimo produtos utilizados como comparação suportem cargas, nenhuma delas é sujeita à força exercida pelo peso de uma pessoa. Por essa razão optou-se pela selecção da Poliamida 6.6 com 30% de fibras de vidro uma vez que esta garante uma maior rigidez do produto em comparação ao Polipropileno ou ao Polietileno, para além de possuir uma elevada resistência química a solventes, óleos e graxa como é requerido. Por questões de custos optou-se então pela selecção do mesmo grau de material que os componentes anteriores, sendo que a ficha técnica deste pode ser então consultada no anexo 8. O material seleccionado para a base é então o seguinte:

Fabricante: *DuPont Engineering Polymers Europe*

Material: PA 6.6 30% GF

Grade: *Zytel 70G30HSL NC010*





2.3. Cilindros

2.3.1. Técnica de processamento

Para a selecção da melhor técnica de processamento para a base foram consideradas os seguintes requisitos:

- **Tolerâncias dimensionais apertadas:** como a base possui partes destinadas a integrar outros componentes é necessário seleccionar uma técnica que permita tolerâncias dimensionais apertadas que permitam esse “encaixe”.
- **Peças com geometrias complexas:** Apesar de os componentes serem equivalentes a um perfil tubular, a sua geometria é um pouco mais complexa do que um simples tubo.
- **Bom acabamento superficial:** como o produto é destinado a espaços públicos é essencial um acabamento superficial aceitável de maneira a torna-lo visualmente agradável.
- **Possibilidade de incorporar inserções metálicas durante o processamento:** uma vez que o sistema do produto é, na sua totalidade mecânico, pode ser útil a incorporação de inserções metálicas que facilitem o funcionamento do produto
- **Processo de elevada reprodutibilidade:** possibilidade de produzir cerca de 10 000 peças por ano (de cada);
- **Baixo custo (série alta produção).**

Os perfis tubulares são na sua generalidade moldados por extrusão, contudo a geometria destes perfis é um pouco mais complexa do que a de um simples tubo e por essa razão a técnica de processamento adequada para os cilindros é novamente a moldação por injeção.

2.3.2. Definição das especificações

As especificações destes componentes são as seguintes:

1. Moldação por injeção

2. **Resistência ao desgaste:** Devido a estar sujeito a uma constante fricção é necessária que as suas propriedades não sejam prejudicadas durante o seu funcionamento;



- 3. Boas propriedades de atrito:** devido ao atrito causado entre a base e os cilindros, ou mesmo entre cilindros;
- 4. Elevada rigidez:** 1-3 GPa. É necessário que os cilindros sejam rígidos o suficiente para que não exista flexão;
- 5. Baixa tendência para a fluência;**
- 6. Densidade:** 1000-1200 Kg/m³;
- 7. Absorção de água:** 5% a 10%;
- 8. Boa estabilidade dimensional**
- 9. Temperatura de serviço:** Temperatura de serviço de -10°C a 80 °C;
- 10. Auto extingüível;**
- 11. Custo de produção:** [1,00-6,00] €.

2.3.3. Selecção do material

Depois de definidas as especificações é realizada então a matriz de ponderação. A matriz de ponderação para esses dois componentes encontra-se na tabela 14.

Tabela 14 – Matriz de ponderação das especificações para a selecção do material da Base.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Σ
1		1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	9
2	1		1	1	1	2	2	2	2	2	2	16
3	1	1		1	1	2	2	2	2	2	2	16
4	1	1	1		2	2	2	2	2	2	2	16
5	1	1	1	1		2	2	1	2	2	2	15
6	1	0	0	0	0		2	0	0	1	1	5
7	1	0	0	0	0	0		0	0	1	1	3
8	2	0	0	0	1	2	2		2	2	2	13
9	1	0	0	0	0	2	2	0		0	1	6
10	1	0	0	0	0	1	1	0	2		1	6
11	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1		10

As especificações mais importantes resultantes da matriz de ponderação, são a rigidez, a resistência ao desgaste, as boas propriedades de atrito e a baixa tendência à fluência. A estabilidade dimensional também é um parâmetro bastante importante.

Após a introdução de todas as especificações da Base na base de dados *CAMPUS PLASTIC*, as matérias-primas sugeridas por este foram também PA e POM, uma vez que são



materiais igualmente rígidos, com baixa tendência para a fluência, boa resistência ao desgaste e boas propriedades de atrito. Neste caso como não havia qualquer tipo de produto que se pudesse assemelhar a este, uma vez que a maioria dos tubos fabricados são utilizados para transporte de água sujeitos a pressões, considerou-se somente os materiais utilizados em aplicações mecânicas, sujeitos a fricção e tensões de corte. Tanto o PA como o POM são utilizados em aplicações mecânicas, nomeadamente na indústria automóvel, sendo qualquer um destes materiais uma boa escolha para esta aplicação. Contudo o POM possui maior rigidez, é mais resistente à fadiga e à fluência e a absorção de água deste material é negligenciável ao contrario da PA. Para além disso é um material com um custo (€/Kg) um pouco inferior à da PA, sendo o POM de aproximadamente 1,6€/Kg e a PA de 2,6€/KG [25]. Foi então seleccionado um grau de POM passível de ser moldado por injeção. A ficha técnica com as características do material seleccionado está presente no anexo 9.

Fabricante: *BASF*

Material: POM

Grade: *Ultraform® S2320 003*



3. Dimensionamento mecânico

Os materiais plásticos são usados frequentemente em aplicações onde a resistência a cargas aplicadas e/ou deformações máximas são especificações muito importantes para o sucesso do produto. [22] Por essa razão, considerando os requisitos especificados anteriormente para cada um dos elementos projectados, é importante garantir a sua resistência mecânica, tendo em conta os esforços a que estarão sujeitos durante a sua vida útil. Essa resistência depende não só do material seleccionado e da geometria da peça, mas também das suas dimensões, nomeadamente a espessura da parede, que tem grande influência sobre a qualidade das peças, sendo que esta deve ser tão espessa quanto necessário e tão fina quanto possível. O aumento da espessura das paredes não só determina de forma crítica as propriedades mecânicas, como também influencia a qualidade do produto acabado [13].

Para o dimensionamento mecânico é utilizada a ferramenta computacional designada de *Solidworks Simulations*, que estuda o comportamento estrutural das peças que estejam sujeitas a esforços e permite redesenhar e otimizar cada um dos componentes até ao alcance de uma



espessura mínima que cumpra os requisitos mecânicos definidos e que, por outro lado não prejudique a estética do material. No entanto, antes de proceder á simulação numérica, é feita uma abordagem teórica que resultará na obtenção de uma espessura mínima necessária para que a peça resista às cargas a que estará sujeito tendo em conta as características do material seleccionado, sendo que a espessura obtida na análise teórica será depois a utilizada na simulação numérica, permitindo assim uma comparação dos resultados obtidos nos dois métodos de dimensionamento.

Para uma análise teórica é tido em conta a análise da deformação de vigas. Alguns produtos em plástico são constituídos por vigas ou por conjuntos de componentes estruturalmente equivalentes a vigas. Estas são geralmente elementos estruturais prismáticos rectos e longos, que suportam forças aplicadas em diversos pontos ao longo do elemento. Na maioria dos casos, as forças aplicadas neste tipo de estruturas são perpendiculares ao eixo da viga (carregamento transversal), podendo provocar flexão ou corte nesta. Um critério usado no dimensionamento deste tipo de elementos estruturais é então a definição da sua deformação máxima quando sujeita a um carregamento, considerando que as especificações de projecto de um produto ou de um componente que incluem geralmente um valor máximo admissível para a sua deformação. Ao deformar, parte do componente onde a deformação é máxima pode deslocar-se até muitos milímetros, designando o ponto máximo atingido de deslocamento ou deflexão máxima. A deflexão máxima de uma viga pode ser dada então pela equação 1.

$$y = A \cdot x \quad (1)$$

Onde x é a coordenada do centróide da área do diagrama dos momentos flectores, e A representa a área do diagrama dos momentos flectores que pode ser expressa pelo teorema do momento das áreas para seções não-uniformes expresso pela equação 2.

$$A = \int_0^L \frac{M}{EI} dx \quad (2)$$

Considerando as vigas de igual resistência e de seção uniforme, a tensão de flexão máxima deve ser a mesma ao longo do seu comprimento e a largura deve ser constante. Sabendo então que,

$$M_x = P \cdot x \quad (3)$$

Onde P é a carga aplicada na viga, pode-se concluir que a deflexão máxima de uma viga de seção contante está dependente da carga aplicada e da geometria da viga, que influencia o momento de inercia, de onde será retirado valor de h para a espessura dos componentes. Para além disso, para o calculo da deflexão máxima é necessário ter em conta os apoios e ligações



existentes na viga em estudo [22][26]. Uma vez que se trata de vigas de igual resistência, ao se dimensionar uma viga prismática considerando essencialmente a seção crítica onde o momento flector é máximo, a peça irá ser sobredimensionada para as restantes secções. Por essa razão nem sempre as vigas são totalmente eficientes, uma vez que apenas na secção onde o momento flector é máximo se tira partido das capacidades do material, sendo que a maior parte da peça está a trabalhar com níveis de tensão bastante menor do que para aquele que foi dimensionada. O momento de inércia de uma seção é também importante na análise da sua resistência, e será a determinação do seu valor (através do valor especificado e da expressão para a flecha máxima da viga em consideração) que será possível a obtenção de uma espessura ideal para o componente projectado. As expressões para o momento de inércia de cada tipo de seção e para a flecha máxima dos diferentes tipos de vigas estão presentes no anexo 10. Uma vez que em vigas de seção não rectangular, como as vigas em I ou em T, o momento de inércia é maior, estas são mais eficientes á flexão. No entanto por questões de simplicidade e semelhança aos componentes modelados, a abordagem teórica do dimensionamento irá ser baseada no projecto de vigas em forma U [22][26]. Após retirado o valor do momento de inercia da peça é possível então obter uma espessura ideal para o projecto.

Depois de feita a análise teórica para o dimensionamento do componente e obtida uma espessura mínima necessária para um bom desempenho deste, é feita uma análise numérica do dimensionamento da mesma, utilizando a espessura obtida na análise anterior, realizada no *Solidworks Simulation*. No entanto antes de iniciar o estudo do comportamento mecânico e para assegurar a segurança dos componentes é necessário definir um coeficiente de segurança. Este coeficiente faz com que, quando uma carga é aplicada, apenas uma parte da capacidade da resistência do material esteja a ser utilizada, sendo que a outra parte é reservada para assegurar ao material condições de utilização seguras. A escolha de um coeficiente de segurança baixo pode levar à ruptura da estrutura, por sua vez a escolha de um coeficiente de segurança elevado pode conduzir a um projecto muito pouco económico e não funcional. O ambiente a que o produto, nomeadamente os componentes aqui projectados, estarão sujeitos durante a sua utilização foi tida em conta desde o início do projecto, tendo o cuidado de seleccionar técnicas e materiais que permitam um elevado risco de falha. Por isto tudo e pelo facto de a carga aplicada neste estudo já ser bastante superior ao que em média estes vão estar sujeitos, o coeficiente escolhido foi de 1.5. Conhecido o coeficiente de segurança, e tendo acesso ao limite de tensão do material (tensão



de cedência ou de ruptura), presente na ficha técnica da matéria-prima, é possível determinar a tensão máxima admissível a que o componente pode estar sujeito, através da equação 4.

$$C.S. = \frac{\text{Limite de tensão}}{\text{Tensão admissível}} \quad (4)$$

Ao mesmo tempo que é feita a análise numérica é utilizada a ferramenta de desenho assistido por computador- Solidworks, que permitirá redesenhar e otimizar a peça de maneira a obter um componente com a menor espessura possível que consiga resistir a todas as cargas que será sujeito. Para aumentar essa capacidade de carga ou rigidez de uma estrutura de plástico, é necessário que ocorra um aumento nas propriedades do material plástico ou nas características estruturais da secção. Após a verificação dos resultados para uma espessura inicial, os componentes foram redesenhados consoante regras de projecto de materiais injectados e introduzidas nervuras ao longo da peça, de maneira a reduzir a espessura até valores aceitáveis, sendo que para peças injectadas são aconselhadas espessuras entre 2 a 3 mm. A introdução de nervuras aproxima o componente (no início estruturalmente comparado a uma viga em U) a vigas em I ou T, mais resistentes á flexão do que as vigas em U, devido ao aumento do momento de inércia, sendo este um meio prático e económico de aumentar a integridade estrutural de peças de plástico moldadas por injeção sem a criação de paredes espessas. À medida que são feitas alterações na peça é feita uma nova simulação no Solidworks Simulations de maneira a perceber de que maneira o componente cumpre as especificações [22] [27].

Todo este processo no dimensionamento dos componentes não só permitirá uma optimização até a obtenção de uma peça passível de ser injectada e o mais rentável possível, como permitirá um confronto com ambos os métodos (teórico e numérico) de maneira a perceber quais as falhas e restrições de cada um, para além da importância de ambos na realização de um dimensionamento credível. No final das análises de cada componente serão discutidas e retiradas todas as conclusões tendo em conta a discrepância ou aproximação dos resultados que irão sendo apresentados. Após o dimensionamento de todos os componentes, no final do capítulo, será feita também uma análise geral e exprimidas as considerações finais. É de referir que nesta etapa é somente feita a análise a três dos cinco componentes projectados, sendo os que estes são os que estarão sujeitos a condições mais preocupantes.



1.1. Pedal 1

1.1.1. Análise teórica

Para iniciar o cálculo da deformação sofrida pelo pedal 1, foram determinadas as seguintes dimensões do componente (largura e comprimento). Estas dimensões foram determinadas, juntamente com o seguinte componente a ser analisado (pedal 2), com o recurso a tabelas antropométricas, presentes no anexo 10, que indicam o percentil máximo/mínimo do pé de um Homem adulto, de forma a criar um componente que se adapte e exerça as suas funções da forma mais ergonómica possível. As dimensões iniciais do primeiro componente estão exibidas no esboço da figura 19.

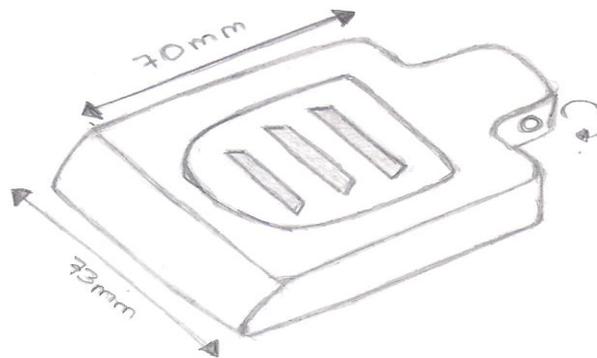


Figura 19- Esboço do componente 1 e respectivas dimensões iniciais.

De forma a iniciar a análise este é comparado a uma viga em forma de U encastrada numa das suas extremidades, ponto esse que será onde o pedal 1 estará em ligação com o pedal 2 e com uma carga distribuída w de valor igual a 1960 N/m^2 (correspondente a uma massa máxima de 200 Kg). Deste modo a secção do componente para o qual o momento flector, e por sua vez a deformação é máxima será para $x = 70 \text{ mm}$, como pode ser visível na figura 20, e é expresso, neste caso, pela equação 5, em que o comprimento L é representado no eixo dos xx .

$$y = -\frac{w.L^4}{8.E.I} \quad (5)$$

Tendo em conta a formula do momento de inercia para uma secção rectangular presente na literatura, a espessura mínima necessária para uma flexão máxima de 1 mm (especificado para este componente) no ponto $x=70 \text{ mm}$ para um material com modulo de 7 GPa, é igual a 5,2 mm.



No entanto, é sabido que a espessura resultante é ainda relativamente elevada para a obtenção de um produto eficiente e económico.

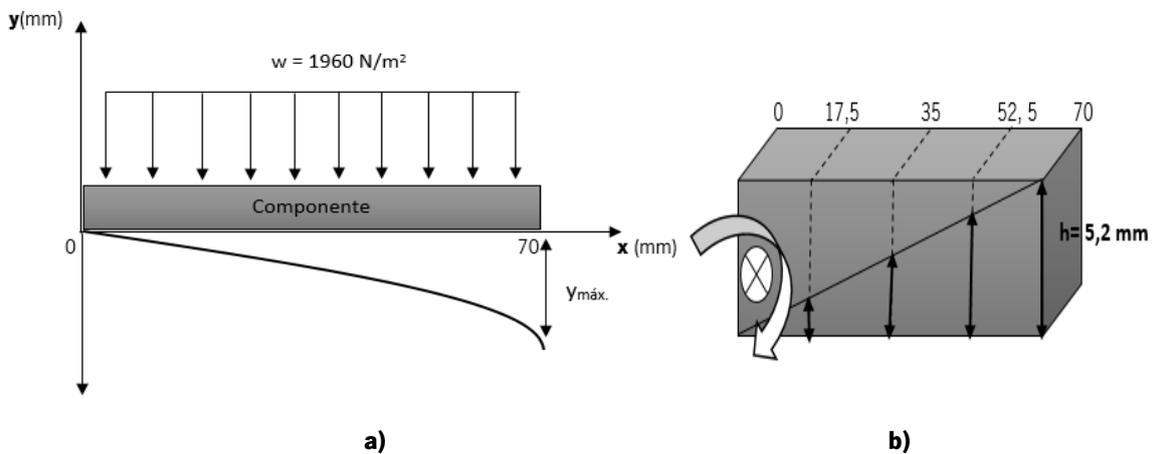


Figura 20- a) Análise da deformação do componente pedal 1. **b)** Vinculo do componente e divisão em seções: aumento da espessura mínima necessária para os diferentes comprimentos de secção.

1.1.2. Análise numérica

1.1.2.1. Preparação do componente para análise

De uma forma resumida, até se poder iniciar a simulação pretendida é necessário sujeitar o modelo às seguintes etapas: importar modelo, seleccionar o estudo, escolher o material, definir as interacções (fixadores, conectores e cargas aplicadas) gerar a malha e por fim dar início à análise. [28] Neste componente é apresentada uma explicação mais detalhada da utilização do software *Solidworks*, ilustrando os passos necessários para a obtenção dos gráficos referentes ao comportamento mecânico do componente. De forma a poder comparar ambos os metodos de dimensionamento, foi tido como base o componente modelado com uma espessura de 5,2 mm calculada na análise teorica

1. Seleccionar estudo:

A primeira etapa é seleccionar o tipo de análise que se pretende realizar, que neste caso será uma análise estática (*Linear Static Analysis*). A análise estática permite calcular os deslocamentos, a tensão e a deformação que cada elemento da peça sofre, tendo em conta os esforços aplicados, sendo que no final serão apresentados os resultados.



2. Escolha do material:

Nesta etapa é identificado o material anteriormente seleccionado para o componente. O *Solidworks Simulation* dispõe de uma biblioteca com vários materiais, entre os quais plásticos, que possuem características padrão para os diversos tipos de material. No entanto, algumas propriedades variam consoante o grau de material seleccionado. Uma vez que é importante que as características sejam bem definidas para obter resultados precisos, existe também a possibilidade de utilizar a ferramenta designada de *custom materials* onde é possível alterar as suas características. Neste caso o material seleccionado foi a Poliamida 6.6 com 30% de fibras de vidro. Como a biblioteca de materiais existentes no *Solidworks* não considera a incorporação de fibras foi necessário modificar os valores de algumas das características apresentadas, nomeadamente o modulo de elasticidade do material, a densidade e a tensão de cedência.

3. Interacções:

As interacções descrevem como o corpo interage consigo próprio e com o meio. Estas interacções podem ser conexões, fixações ou cargas aplicadas. Para a realização de uma análise estática é geralmente necessário a identificação de pelo menos uma interacção e aplicação de uma carga externa. Na parte das fixações, é possível identificar as partes onde o componente é fixo restringindo os movimentos da superfície nas três direcções. A aplicação de forças externas é importante para o estudo comportamental dos dois componentes pois, para o caso de uma incorrecta indicação das forças (aplicação, direcção e intensidade), os resultados não serão credíveis. Na figura 21 a) é apresentada um exemplo das fixações identificadas no pedal, onde este terá ligação com o pedal 2 enquanto que na figura 21 b) é representada a força distribuida de 1960 N/m² aplicada por toda a superfície do pedal que corresponde ao peso máximo admissível de uma pessoa na sua utilização.

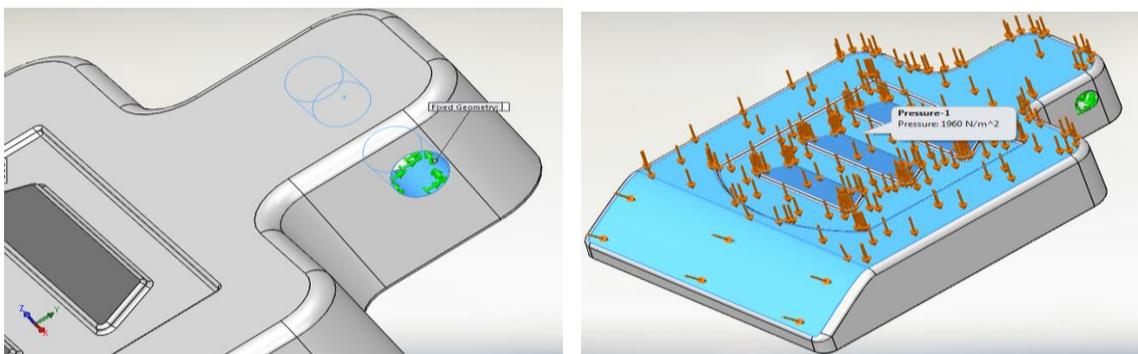


Figura 21 - Interacções do pedal 1: **a)** Fixações **b)** Forças externas.



a)

b)

4. Criação da malha (*mesh*):

A malha é importante na análise dos componentes e pode ser gerada automaticamente pelo *softwar* tendo em conta a geometria do modelo em análise. Neste caso é criada uma malha do tipo sólida (*solid mesh*). A *solid mesh* é um tipo de malha que pode ser gerada para peças com parede espessa ou peças de parede fina com geometria complexa. Antes de ser gerada é possível alterar o tamanho de cada elemento e a sua tolerância para valores aproximados ou dimensões que permitam a criação dos elementos triangulares, essencialmente nas zonas mais finas. Neste caso a malha foi redefinida para valores aproximados, sendo que o tamanho dos elementos passou para 3 mm com uma tolerância de 0,15 mm. Na Figura 22 encontra-se representada a malha gerada para o pedal 1 em análise neste projecto.

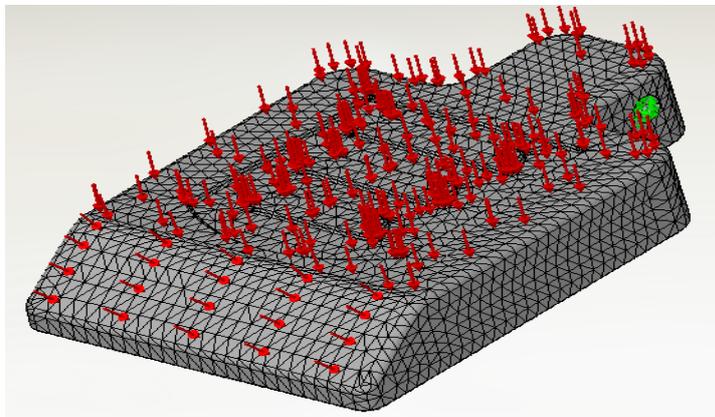


Figura 22- Malha gerada.

1.1.2.2. Apresentação dos resultados

Após a geração da malha é possível correr o estudo e obtêm-se assim os resultados para a tensão, deslocamento e deformação da peça para as condições especificadas, apresentados na figura 23 e 24, para a tensão e o deslocamento do componente, respetivamente.

$$\text{Tensão admissível}_{PA66 GF30\%} = 90 \text{ MPa}$$

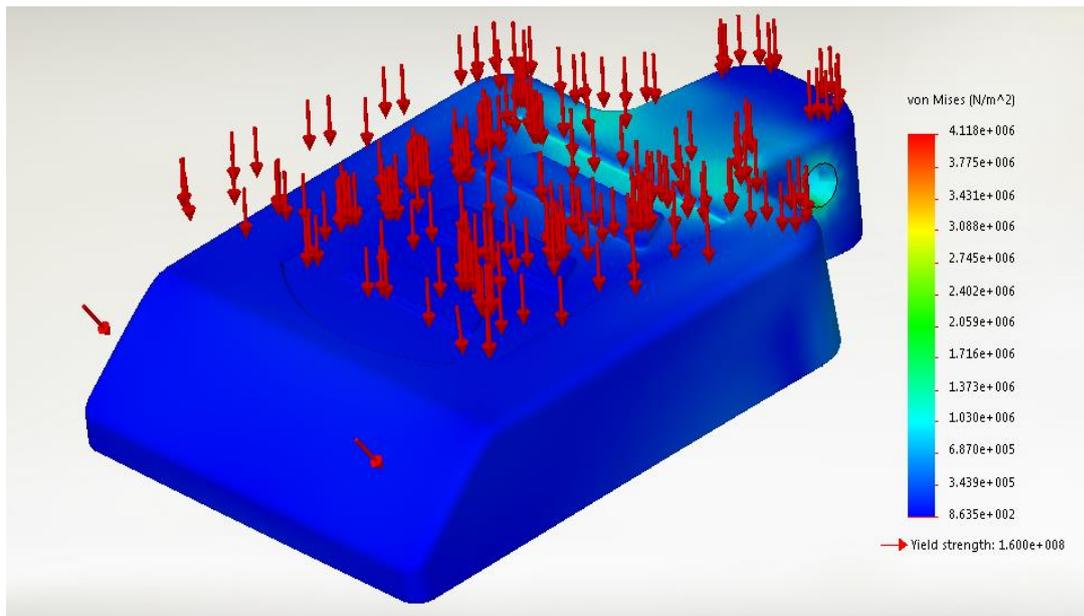


Figura 23- Gráfico da Distribuição de tensões no pedal 1 com 5,2 mm de espessura.

Pela análise dos resultados anteriores e após calculada a tensão admissível para o material utilizado neste componente pode-se concluir que as tensões a que o material está sujeito no carregamento aplicado, sendo que a tensão máxima a que está submetido é de aproximadamente de 4.1 MPa, são bastante inferiores à tensão admissível deste material com um coeficiente de segurança de 1.5, concluindo-se que as dimensões do componente são suficientes para suportar a carga a que estará sujeito. O valor máximo de tensão é localizado próximo do furo do parafuso. Isto pode ser explicado pelo facto de ser uma zona frágil sem qualquer tipo de reforço, em que uma área menor está sujeita à mesma força.

Por outro lado, no que toca à deflexão máxima sofrida pelo componente os valores para o componente de 5,2 mm de espessura rondam os 0,1 mm, como pode ser observado pelo gráfico da figura 24. Os deslocamentos são mais acentuados nas zonas assinaladas a vermelho pelo facto de estarem mais afastadas dos pontos de fixação, sendo que são mais reduzidos onde se dá a fixação do material, pois esta serve de suporte não deixando o material deformar. No entanto as dimensões do componente são suficientes para cumprir as especificações do componente, e por isso os deslocamentos sofridos não são significativos.

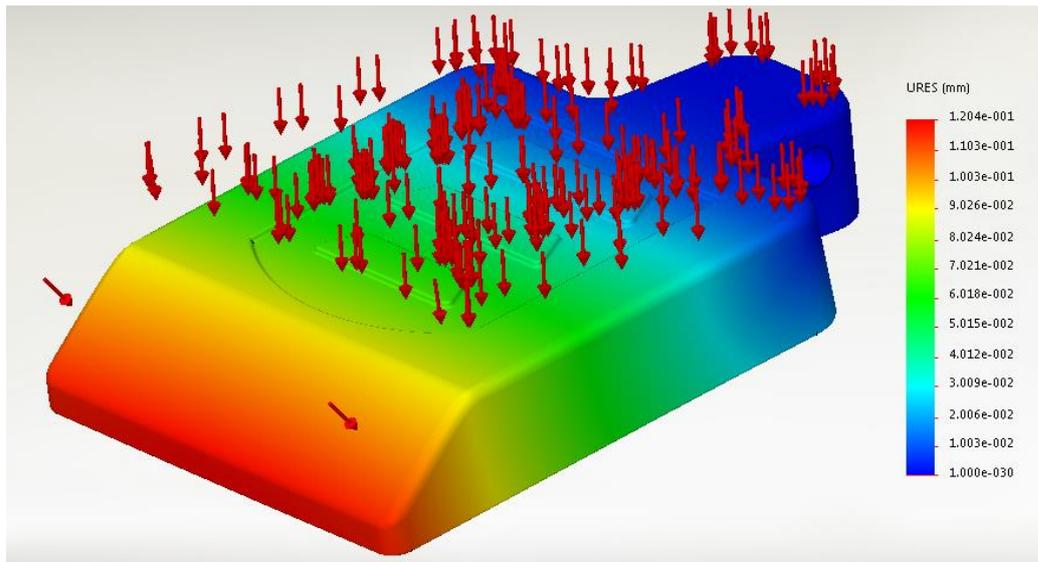


Figura 24- Gráfico dos deslocamentos ocorridos nas diferentes secções do pedal 1.

No entanto, tendo em conta que na análise teórica para se obter uma espessura máxima de 5,2 mm, a deflexão máxima definida foi de 1 mm, pode-se concluir que existe de facto uma diferença nos resultados obtidos de ambos os métodos para este caso. Esta diferença de valores pode ser explicada pelo simples facto de que teoricamente não é considerada a geometria da peça. O comportamento mecânico, nomeadamente a flexão ou deformação de um componente, para além de depender do material utilizado, depende também da sua geometria, uma vez que esta pode aumentar o valor do momento de inércia, reduzindo o valor da deformação ou a flexão do material. Esta relação pode ser observada na equação 5 para a deflexão máxima numa viga simplesmente apoiada com uma carga distribuída. Em contrapartida, os cálculos teóricos são feitos considerando apenas uma viga quadrada em forma de U ao contrário do que acontece no software, que considera já a estrutura geométrica da peça originada da modelação 3D, sendo que o pedal 1 possui uma estrutura que possui um maior número de pontos de apoio que permitirá uma melhor sustentação mecânica à peça.

Em conclusão e devido ao facto de a deflexão ainda ser um pouco menor do que o limite especificado é possível ainda tentar reduzir a espessura do componente através da optimização dos componentes, redesenhando ao mesmo tempo a peça de forma a obter um produto com bom desempenho, económico e viável.



1.1.3. Optimização: redução de espessura e incorporação de nervuras

Para este componente foi definida uma espessura mínima inicial de 5.2 mm, no entanto como foi verificado numa primeira análise, as tensões e os deslocamentos sofridos ainda estariam longe dos limites e por essa razão foi possível reduzir a espessura da peça, sem qualquer outro tipo de alterações nesta, até 2.5 mm, sendo que para a espessura de 2 mm apesar de as tensões ainda se manterem abaixo da tensão admissível, o deslocamento máximo já ultrapassava 1 mm.

É sabido que é possível reduzir a espessura da parede sem comprometer o bom comportamento mecânico do componente, através da introdução de nervuras. Por essa razão, o componente foi desenhado com a espessura de 2 mm (espessura para o qual deixava de cumprir as especificações), uma vez que é uma espessura perfeitamente passível de ser injectada, sendo incorporadas nervuras que permitirão que com esta espessura o material mantenha as tensões abaixo da tensão admissível e que a deflexão seja inferior a 1 mm. Foram incorporadas então, na parte interna da peça, duas nervuras unidireccionais com 1,5 mm de espessura e 5 mm de altura, orientadas de tal forma a proporcionar o máximo de rigidez à flexão no componente, sendo que o aumento da rigidez é mais significativo se estas estiverem orientadas ao longo do seu comprimento, ou seja desde o seu vinculo até à seção do componente onde existe uma maior deflexão, como se pode observar na figura 25.



Figura 25- Optimização do pedal 1: Nervuras acrescentadas ao componente.



1.2. Pedal 2

1.2.1. Análise teórica

A análise do pedal 2 é semelhante á do componente anterior, variando apenas nas dimensões utilizadas. Essas dimensões foram igualmente atribuídas consoante as tabelas antropométricas e em conjunto com o componente anterior, resultando na atribuição de medidas representada na figura 26.

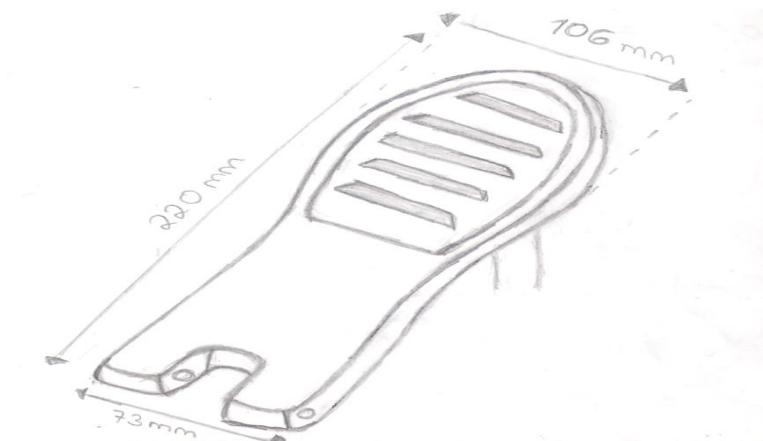


Figura 26 - Esboço do componente 2 e respectivas dimensões iniciais.

Tal como no componente anterior, o pedal 2 foi também analisado segundo uma viga encastrada em balanço, ligada ao pedal 1 na sua extremidade por um parafuso de união. Tendo em conta o modulo de elasticidade do material (7000 MPa), a carga aplicada, a deformação máxima igual a 1 mm e a formula para o momento de inercia de secção rectangular, a espessura mínima para o componente em que a deformação máxima se dá para $x = 22$ mm é de 16,5 mm, utilizando a mesma expressão de deformação máxima que o a utilizada no componente anterior. Contudo está espessura é bastante elevada comparativamente com a generalidade de espessuras de produtos injectados. No entanto, primeiramente irá ser feita a análise numérica de forma a obter os resultados gráficos do comportamento mecânico do componente para esta mesma espessura.



1.2.2. Análise numérica

1.2.2.1. Preparação do componente para análise

Neste componente a espessura calculada na análise teórica e utilizada para começar a simulação numérica foi de 16,5 mm. A fixação do componente foi localizada também numa das extremidades do pedal que terá ligação ao componente anterior e alteradas algumas características do grau de poliamida 66 com 30% de fibras de vidro selecionado, tendo em conta a sua ficha técnica. A força externa máxima distribuída de 1960 N/m² é aplicada por toda a superfície do pedal que corresponde ao peso de uma pessoa na sua utilização. A malha foi inicialmente redefinida para valores aproximados, sendo que o tamanho dos elementos passou para 5 mm com uma tolerância de 0,25 mm.

1.2.2.2. Apresentação dos resultados

Após correr o estudo foram obtidos os resultados apresentados na figura 27 e 28, para a tensão e o deslocamento do componente, respetivamente.

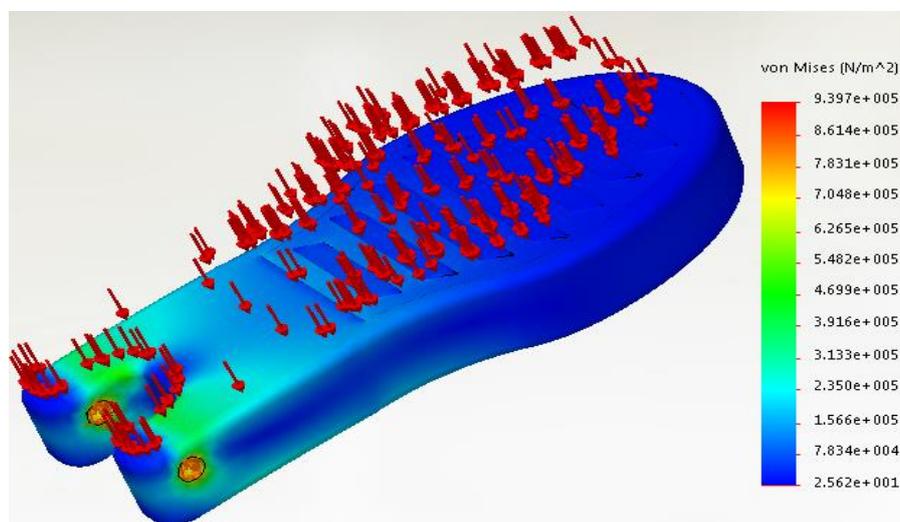


Figura 27- Gráfico da Distribuição de tensões no pedal 2.

$$\text{Tensão admissível}_{PA66 GF30\%} = 90 \text{ MPa}$$



Tal como no componente anterior, e uma vez que a tensão admissível é a mesma, verifica-se pela análise do gráfico precedente que as tensões máximas a que o componente pode estar sujeito são muito inferiores à tensão admissível por este com um coeficiente de segurança de 1.5, e estão localizadas nas zonas dos furos pelas mesmas razões que o componente anterior. Neste caso, as deflexões máximas sofridas pelo componente com 16,5 mm de espessura rondam os 0,05 mm, localizadas nas zonas opostas onde se dá a fixação do componente. Estes valores possuem uma grande discrepância dos valores obtidos na análise teórica que indicam que para a espessura mínima de 16,5 mm a deflexão máxima é de 1 mm. Por esta razão as dimensões são mais que suficientes para cumprir as especificações, no entanto é sabido que é necessário reduzir esta espessura, de maneira a tornar o produto mais eficiente.

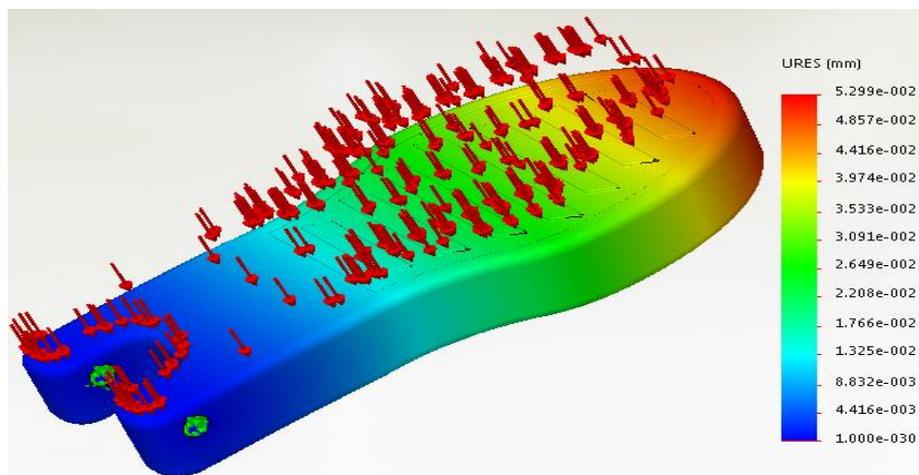


Figura 28- Gráfico dos deslocamentos ocorridos nas diferentes secções do pedal 2.

1.2.3. Optimização: redução de espessura e incorporação de nervuras

A espessura inicial para iniciar o estudo deste componente foi de 16,5 mm. Sendo este um componente pensado para ser moldado por injeção esta espessura é demasiado elevada, podendo resultar em diversos problemas na sua transformação e consequentemente defeitos no produto final. Por essa razão, antes de qualquer outra alteração, a espessura deste componente foi possível reduzida até 3 mm. No entanto como este valor ainda não está dentro dos valores ideais, o componente foi redesenhado com uma espessura de 2,5 mm inserindo nervuras, com uma espessura de 1,9 mm e 6,3 mm de altura, na direcção da deflexão do material (tal como no componente anterior) e cruzadas, na parte interna do componente como pode ser observado pela figura 29. As estruturas com nervuras cruzadas mostraram um grande sucesso, no projecto de



peças em plástico, isto porque estas conseguem suportar diferentes configurações das cargas aplicadas, assegurando a distribuição uniforme da carga por toda a peça moldada. Por outro lado, nervuras cruzadas formam nódulos que se formam nas intersecções das mesmas, que representam acúmulos de material, devendo ser otimizados para se prevenir problemas, como rechupes. É igualmente necessário tomar o cuidado de assegurar que seja evitado o acúmulo indevido do material, nos pontos onde as nervuras se unem às bordas da peça [13].

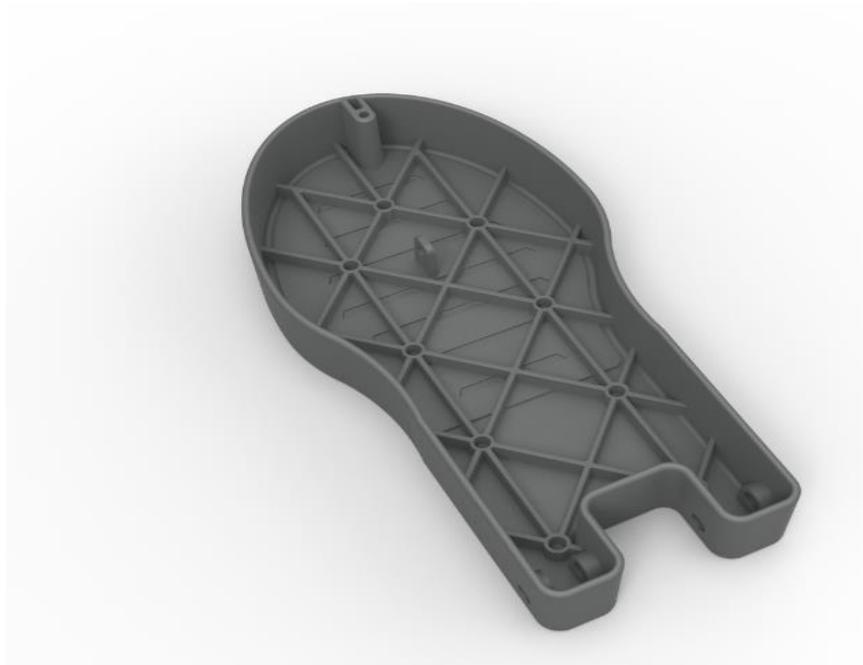


Figura 29 – Otimização do pedal 2- Nervuras acrescentas ao componente.

1.3. Base

1.3.1. Análise teórica

Para o dimensionamento inicial da base que permitirá a incorporação do pedal e dos elementos do seu funcionamento recorreu-se às dimensões gerais das cabines já existentes utilizadas em casas de banho públicas, de maneira a que esta se adeque ao espaço da melhor maneira, permita uma interação com a porta e possibilite a passagem do utilizador sem causar riscos. Desta forma o comprimento da base terá aproximadamente 92% da largura de uma cabine, que, como se pode verificar pelo esquema existente no anexo 11 é de aproximadamente 850 mm. Por outro lado, a largura foi arbitrada de maneira a ser a menor possível, mas suficiente para incorporar todos os elementos do pedal e possibilitar o contacto deste com o sistema que permitirá



a abertura da porta. As dimensões primordiais que serão utilizadas na determinação da espessura mínima necessária para resistir à carga a que está sujeita, encontram-se expressas no esboço da figura 30.

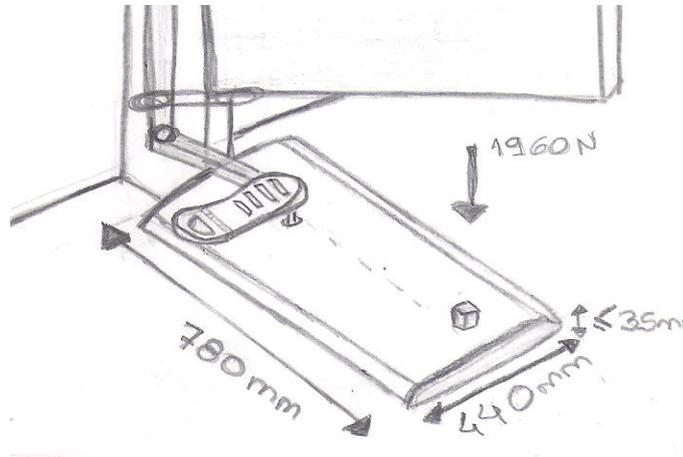


Figura 30 - Esboço do componente 3 e respectivas dimensões iniciais.

O dimensionamento teórico, uma vez que a base estará aparafusada nas suas extremidades, foi realizado considerando a análise de uma viga bi-apoiada com uma carga aplicada a uma distância b de uma das extremidades, como pode ser observado na figura 31.

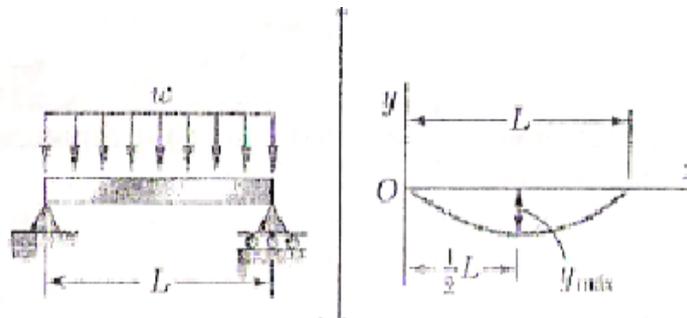


Figura 31- Esquema da situação mecânica da base.

Neste caso, como podemos verificar, a deformação máxima dá-se num ponto central entre as duas extremidades. A deformação máxima nesse ponto pode ser calculada pela equações 6.

$$y = -\frac{5WL^4}{384EI} \quad (6)$$

Uma vez que a deformação máxima requerida para este componente é de 2 mm, utilizando a expressão do momento de inercia para uma secção rectangular (secção que mais se aproximava com a estrutura da base) obtém-se o valor de h que representa a espessura mínima



necessária para que o componente consiga resistir à carga aplicada de 22 mm. Contudo este valor é extremamente elevado, sendo necessário reduzir esta expressora para que seja possível injectar o componente.

1.3.2. Análise Numérica

1.3.2.1. Preparação do componente para análise

Neste componente a espessura calculada na análise teórica e utilizada para começar a simulação numerica foi de 22 mm. A base estará apoiada no chão e fixada nos dois lados. As características do material foram alteradas tendo em conta os dados do grau de poliamida 66 com 30% de fibras de vidro selecionado. É distribuída por toda a superfície da base uma força externa máxima de 1960 N/m^2 , correspondente ao peso máximo admissível por uma pessoa que utilize o produto. A malha foi inicialmente redefinida para valores bastante inferiores de maneira a ser possível gerar a malha nas zonas mais finas, sendo que o tamanho dos elementos triangulares passou para 5 mm com uma tolerância de 0,25 mm.

1.3.2.2. Apresentação dos resultados

Os resultados da simulação mecânica para a tensão e o deslocamento do componente da base com 22 mm são apresentados nas figuras 32 e 33, respetivamente.

Uma vez que o material utilizado é o mesmo, a tensão admissível é por sua vez igual à dos componentes anteriores. É possível verificar pela análise do gráfico 32 que a tensão máxima a que o componente está sujeito é muito inferior à tensão admissível por este com um coeficiente de segurança de 1.5. Neste caso as tensões máximas estão localizadas nas zonas onde é gerado um afundamento de modo a poder encaixar o pedal na base. Apesar de a modelação ter sido feita de maneira a que esse “afundamento” mantenha a espessura constante, devido à geometria desta, pode ter havido secções da peça onde a espessura ficou ligeiramente reduzida, fazendo com que as tensões nessas zonas fossem mais elevadas.

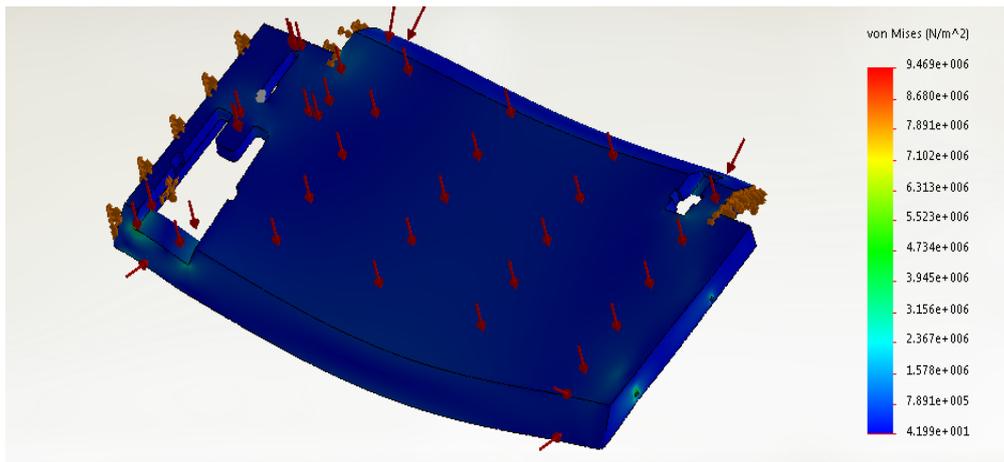


Figura 32- Gráfico da Distribuição de tensões na base.

$$\text{Tensão admissível}_{PA66 GF30\%} = 90 \text{ MPa}$$

Por outro lado, o deslocamento máximo sofrido pelo componente ronda os 0,5 mm, existindo ainda uma grande distância ao valor máximo admissível especificado para este componente (2 mm). Da mesma forma os maiores deslocamentos verificam-se nas zonas mais afastadas das fixações, e uma vez que este componente possui fixações em ambas as extremidades o deslocamento dá-se maioritariamente no centro da peça. Para além de que esse valor se distancia dos valores obtidos na análise teórica, que indicam que para a espessura mínima de 22 mm o deslocamento máximo é de 1 mm, devido ao facto de, neste caso ser a base possuir uma geometria com diversos apoios, enquanto que nos cálculos teórico é considerada uma viga em forma de U. Por esta razão as dimensões são mais que suficientes para cumprir as especificações, sendo ainda possível a redução da espessura do material.

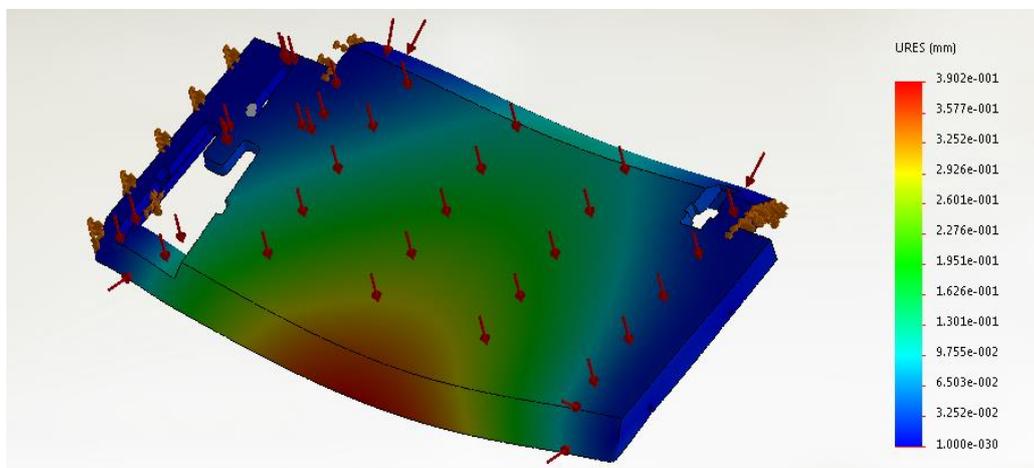


Figura 33- Gráficos dos deslocamentos na base.



1.3.3. Optimização: redução de espessura e incorporação de nervuras

A espessura inicial recomendada pelos cálculos teóricos foi de 22 mm. No entanto é perfeitamente claro que esta espessura é demasiado elevada, principalmente para um componente que está a ser projectado para injectar, podendo resultar em diversos problemas na sua transformação e consequentemente defeitos no produto final. Por essa razão e uma vez que os resultados da simulação para essa espessura indicavam valores um pouco abaixo dos limites, antes de qualquer outra alteração, a espessura deste componente foi reduzida ao mesmo tempo que eram introduzidas nervuras, com 2,5 mm de espessura e 7,5 mm de altura, de maneira a oferecer á base uma maior resistência. Devido às grandes dimensões da base é necessária uma grande quantidade de nervuras de maneira a que o componente satisfaça as condições de segurança com uma espessura reduzida. Por essa razão foram introduzidas nervuras em todas as direcções de maneira a sustentar a base. Uma grande parte das nervuras foram desenhadas segundo as regras, no entanto algumas delas foram construídas com altura igual à da própria base que permite uma maior sustentação desta e impede-a de ceder. É igualmente necessário ter o cuidado de assegurar que o acúmulo indevido do material seja evitado, nos pontos onde as nervuras se unem às bordas da peça. A optimização da peça pode ser visualizada na figura 34.

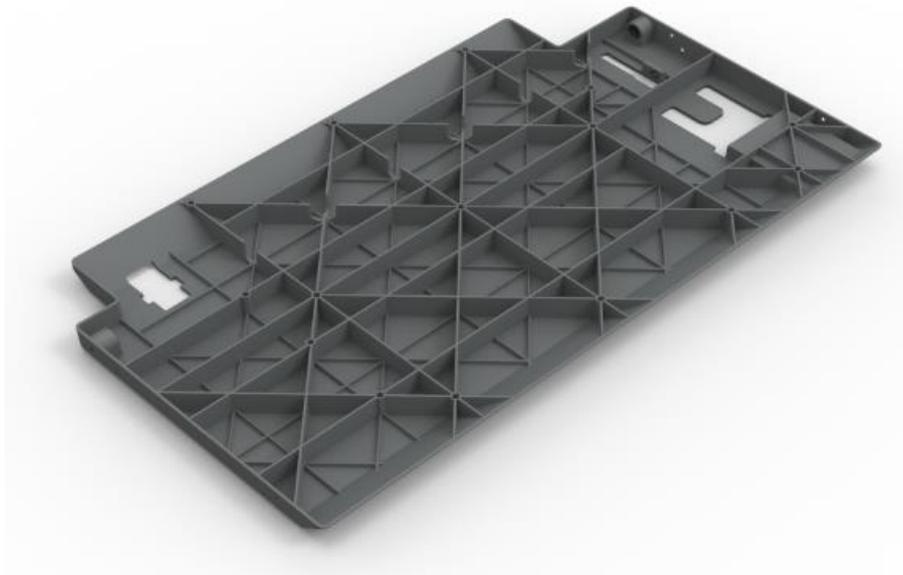


Figura 34- Optimização da base.

1.4. Considerações finais



Após uma abordagem a ambos os métodos utilizados para o dimensionamento dos componentes foi possível concluir que existe uma grande diferença nos valores obtidos, uma vez que os valores da deflexão calculados para a mesma espessura possuem uma grande discrepância, sendo bastante superiores nos cálculos efectuados teoricamente. Ou seja, na análise teórica, uma deflexão máxima de 1 mm sugere uma espessura mínima bastante superior do que aquela que seria necessária para atingir essa mesma deflexão no software de análise numérica.

No entanto, embora as conclusões das análises em todos os componentes indiquem que numa análise numérica os valores obtidos para deflexão do componente, são menores que os obtidos numa análise teórica, para uma mesma espessura, isto nem sempre acontece. Esta diferença de valores, como já referido anteriormente, pode de facto, ser explicada devido à falta de consideração pela geometria nos cálculos teóricos, sendo que o comportamento mecânico possui uma grande dependência ao tipo de geometria utilizada, uma vez que esta pode aumentar o valor do momento de inércia, reduzindo o valor da deformação ou a flexão do material, mas noutras situações a peça modelada e sujeita a simulação numérica pode ter uma geometria com um momento de inércia reduzido e que não permitam uma boa sustentação da peça (inferior às vigas em forma de U). Nesses casos os valores obtidos para a deflexão do material na análise numérica podem ser bastante inferiores aos obtidos num cálculo teórico.

Desta forma podemos chegar à conclusão que o método mais eficaz para um dimensionamento eficiente é a interligação das duas análises, começando por uma análise teórica, onde inicialmente é possível perceber as espessuras admissíveis pelo material seleccionado, sendo que se forem obtidas espessuras muito elevadas o mais sensato será proceder à selecção de uma nova matéria-prima. De seguida realizar então uma análise numérica, através de um software de simulação recomendado para o estudo de peças em plástico, que permitirá entender comportamento do componente com determinadas características e otimiza-lo até à obtenção de uma componente preparado para ser produzido. Na figura 35 pode ser observado a metodologia recomendada e utilizada na etapa de dimensionamento de modo a evidenciar de uma forma mais clara as fases sequenciais realizadas.

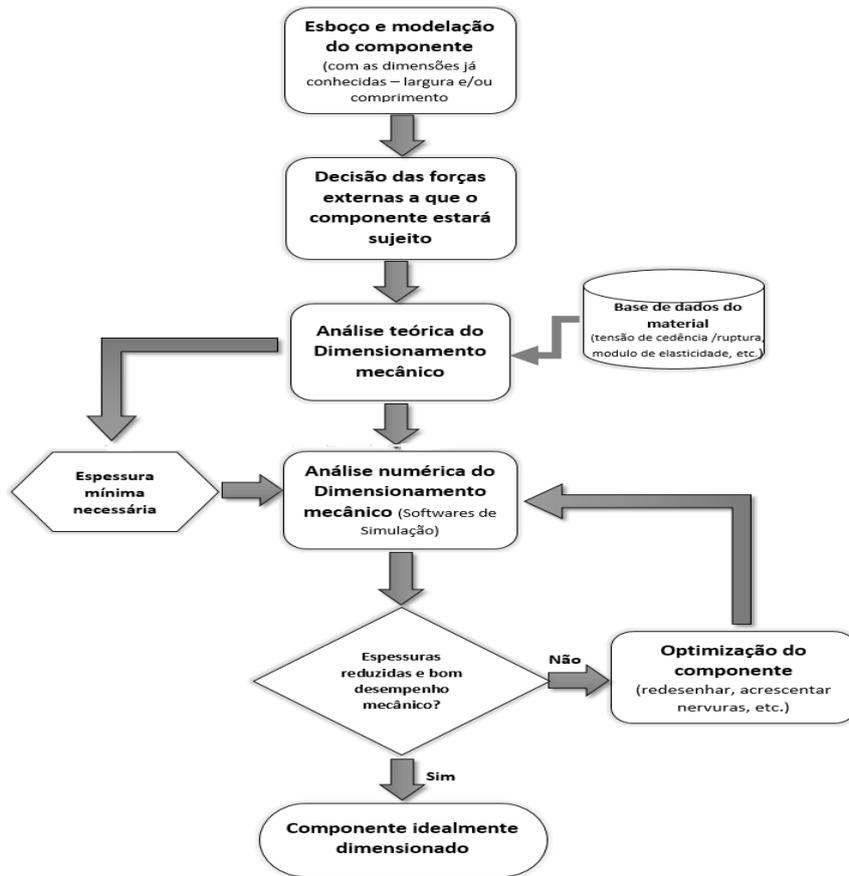


Figura 35 - Fluxograma do processo utilizado para o dimensionamento de um componente

4. Modelação 3D

Antes de proceder ao dimensionamento do componente e à determinação da espessura ideal que permita ao mesmo tempo ter uma peça com elevado desempenho e económica é possível modelar cada um dos componentes seguindo algumas regras de projecto. De seguida serão apresentados exemplos de algumas considerações e regras de projecto para peças plásticas que foram aplicadas a cada um dos componentes projectados moldados por injeção.



4.1. Pedal 1



Figura 36-Modelação 3D do pedal 1: considerações de projecto.

- **Raios de curvatura**

Na modelação da peça da figura 36, foram utilizados ângulos de curvatura de maneira a reduzir a fragilização da mesma. Uma vez que a espessura desta foi reduzida até 2 mm, o raio mínimo admissível seria 25% dessa espessura, ou seja 0,5 mm. No entanto na parte superficial, bem como no interior da peça foram utilizados raios de curvatura de 2 mm. Já as secções de apoio possuem raios de 0,8 mm de maneira a não prejudicar o desequilíbrio. Os cantos arredondados foram atribuídos de forma a manter a espessura uniforme por toda a peça. Nas nervuras, como a espessura destas é inferior em relação às restantes paredes, foram utilizados raios de valor igual a 0,5 mm.

- **Ângulo de saída**

Para facilitar a extracção da peça, todas as secções da peça possuem ângulos de saída de 1.5°.

- **Outras considerações**

Uma vez que este componente terá ligação a outro através de um parafuso de união que terá entrada no furo, foram desenhados uma espécie de castelos que servirão de guia e suporte para o parafuso evitando que este sofra deflexão com facilidade. Este castelo foi projectado de forma a permitir a extracção da peça, uma vez que este é perpendicular à linha de partição deste componente. Para além disso, de modo a evitar a acumulação de material no cruzamento das nervuras foram desenhados castelos com 50% da espessura das nervuras, contudo o alongamento



dos furos, como estes se encontram na direcção da extracção da peça, podem manter a sua forma.

4.2. Pedal 2



Figura 37- Modelação 3D do pedal 2: considerações de projecto.

- **Raios de curvatura**

A espessura deste componente, representado na figura 37, foi reduzida até 2,5 mm, sendo que o raio mínimo admissível seria então 0,25% dessa espessura, ou seja 0,6 mm. No entanto de maneira a reduzir ao máximo as tensões geradas na peça, foram utilizados raios de curvatura de 2 mm na parte. Nas nervuras, como a espessura é inferior que as restantes paredes, foram utilizados raios de valor igual a 0,6 mm.

- **Ângulo de saída**

Para facilitar a extracção da peça, todas as secções da peça possuem também ângulos de saída de 1.5°.

- **Outras considerações**

O Pedal 2 é conectado ao pedal 1 através de um parafuso de união que terá entrada no furo, e por isso, tal como no outro foram também desenhados castelos, projectado de igual forma. Na parte interna da peça, para além das nervuras é possível notar outras estruturas desenhadas para permitir a ligação do pedal a outros componentes, sendo que todas essas foram modeladas



de forma a evitar a acumulação de material, que faz com que o tempo de arrefecimento nessa parte aumente e conseqüente gere contracção do material nessa zona.

4.3. Base

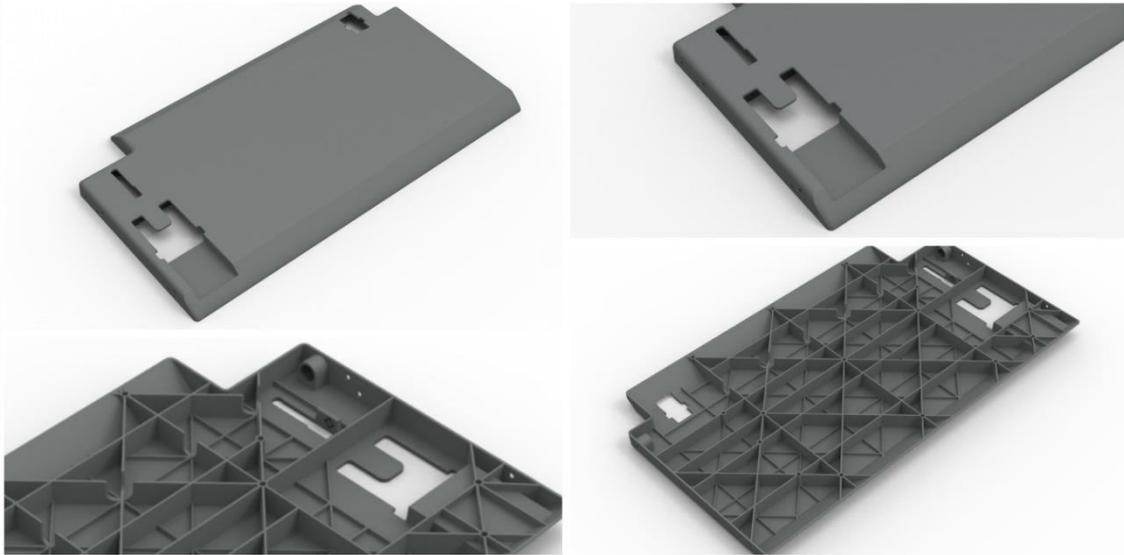


Figura 38- Modelação 3D do pedal 2: considerações de projecto.

- **Raios de curvatura**

A espessura final admissível para a base, representada na figura 38, foi de 3 mm, o raio mínimo admissível seria então 0,8 mm. No entanto na parte superficial da peça, foram utilizados raios de curvatura de 2-3 mm. Nas nervuras, como a espessura é inferior que as restantes paredes, foram utilizados raios de valor igual a 0,6 mm.

- **Ângulo de saída**

Para facilitar a extracção da peça, todas as secções da peça possuem ângulos de saída de 1.5°.

- **Outras considerações**

Este componente foi projectado de maneira a que o pedal se consiga encaixar e movimentar sem que haja o choque entre eles. O trinco pode também movimentar-se entre o exterior e o interior da base sem colidir com esta. Na parte interna a geometria da base permite também o encaixe dos cilindros. Foram desenhados castelos na zona onde serão introduzidos esses cilindros de forma a guiar e sustentar estes. Neste caso também foram projectados de forma a permitir a extracção da peça, uma vez que os furos estão na direcção perpendicular à linha de partição deste componente.



A base possui também em duas das suas laterais uma espécie de rampa de maneira a evitar que a pessoa tropece, e por outro lado que possibilite o acesso a pessoa portadoras de cadeiras de rodas, uma vez que permite a subida desta de forma facilitada.

5. Modelação 2D

Da concepção à utilização de um objecto técnico vai um longo caminho, recorrendo-se muitas vezes ao desenho como meio de expressão e de comunicação. O Desenho técnico uma apresentação gráfica num suporte (folha, ecrã, etc.), estabelecida de acordo com a normalização ISO que o torna universal e de leitura fácil a qualquer pessoa, a representação de um componente. Existem formas diferentes de representação de objectos, nomeadamente a representação ortográfica e a representação perspectivica. A representação ortográfica é a representação por vistas em que as faces principais do objecto têm orientação frontal relativamente ao desenhador. As representações perspectivicas são representações, de uma só vista, de um objecto que é colocado, relativamente ao desenhador, de modo a permitir a sua visão global. Na representação gráfica de um objecto, em desenho técnico, podem ser usadas as suas projecções num plano ou nas suas vistas numa superfície plana, podendo ser apresentado com diversos tipos de projecções, que o desenhador escolhe de acordo com o que pretende transmitir ao leitor [29]. Foram seguidas as seguintes normas:

- ISO 128 – 1/24/34/44/50 – Princípios gerais de representação
- ISO 5456 – 1/2/3/4 – Métodos de projecção
- ISO 10209 – 1/2 - Vocabulário em desenho/projecção

De seguida serão apresentadas as modelações 2D para os três componentes em análise, realizada com recurso ao software de desenho assistido, *SolidWorks*.



5.2. Pedal 2

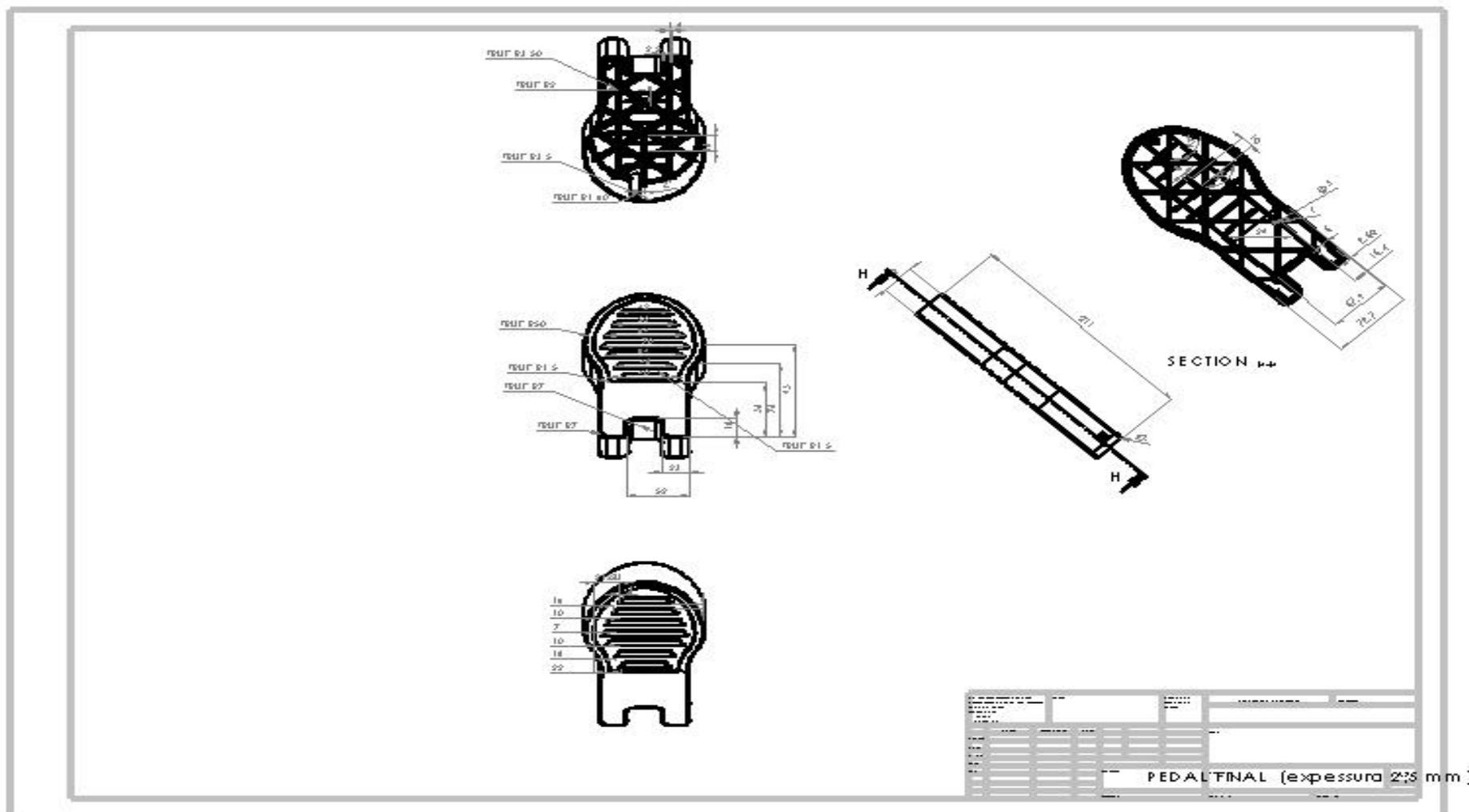


Figura 40- Modelação 2D para o pedal 2



5.3. Base

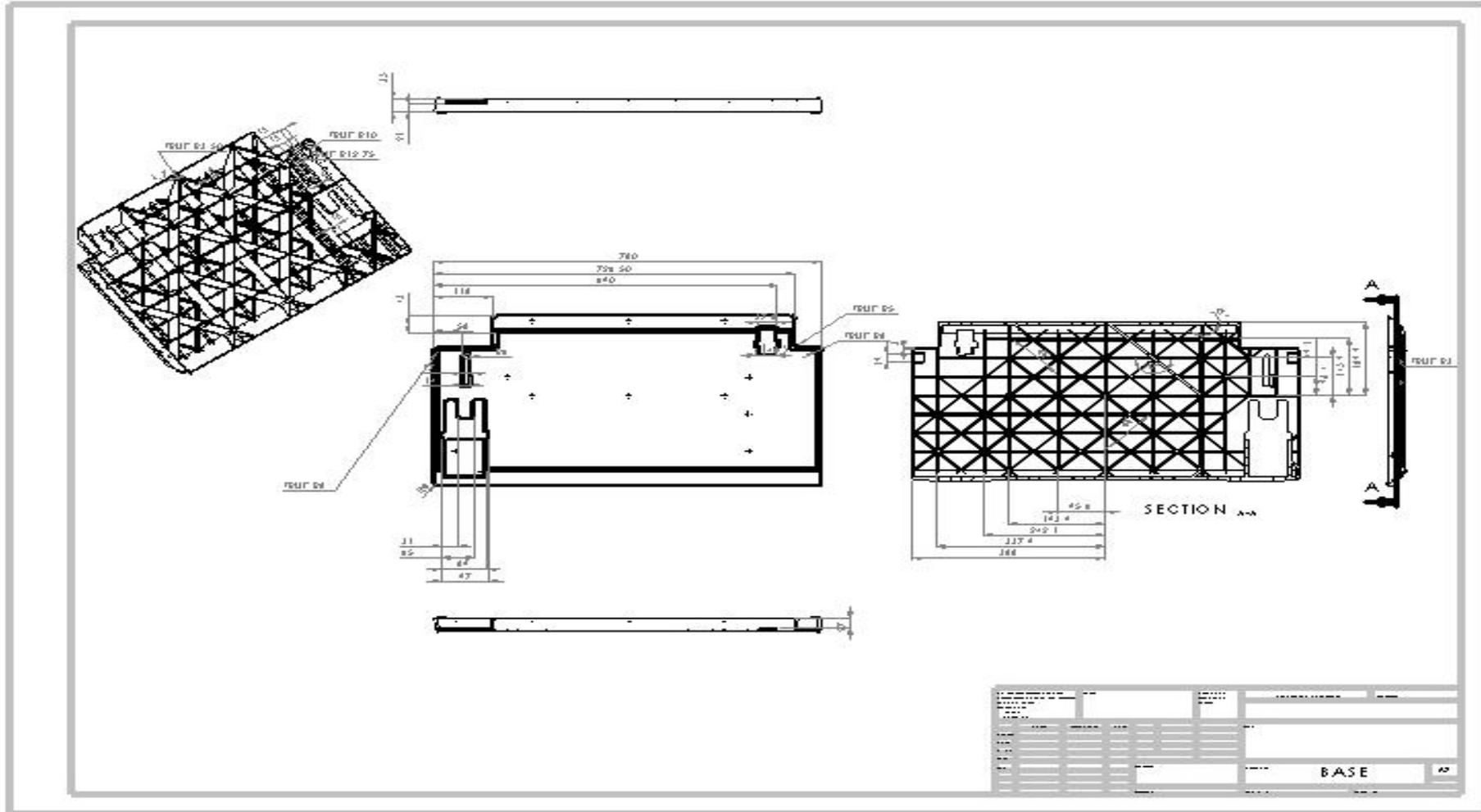


Figura 41- Modelação 2D para a base.

Capitulo V - Optimização tecnológica



Devido á dependência entre a qualidade das peças e os parâmetros do processo de injeção, é importante ajustá-los de maneira a obter peças de qualidade. A configuração destes parâmetros é um desafio uma vez os parâmetros de injeção interagem uns com os outros e um defeito pode estar relacionado com vários parâmetros em simultâneo, para além de que nada nos garante que essa configuração resultará na obtenção de um produto com o desempenho desejado. Existem, portanto, softwares que permitem uma simulação do processo de transformação, com as características e os parâmetros definidos, e facilitam a obtenção de um produto eficiente, podendo prever a ocorrência de problemas ou defeitos antes da eventualidade de gastos maiores, para além de fornecer dados para uma possível previsão de todos os aparelhos necessários e respectivo custos associados ao projecto.

1. Simulações de enchimento

No estudo do comportamento do material ao longo do ciclo de injeção dos componentes do sistema de abertura de portas foi utilizada a ferramenta computacional *Moldflow*. Este software permite analisar se a peça enche ou não, observar possíveis defeitos, entre eles, chupados, linhas de união, pontos de retenção de ar e empeno, bem como diferenças de temperatura na peça, desempenho do sistema de arrefecimento, e outros parâmetros importantes. Para além disso permite simular diferentes configurações dos parâmetros até se atingir as condições “ideais” de processamento a serem implementadas na máquina de injeção [13]. Neste caso, para a obtenção de um projecto eficiente preparado para a produção e sucesso do produto no mercado são necessárias algumas informações relativas ao processo de transformação dos componentes em estudo, sendo elas:

- **Localização do ponto de injeção:** Numa primeira instância é importante um estudo sobre a melhor localização para o ponto de injeção, pois, além de propiciar problemas no seu processamento, a escolha incorrecta do tipo e da sua localização pode ter um resultado considerável sobre a qualidade das peças injectadas. A análise de localização do ponto de injeção é dividida em dois algoritmos: localização do ponto e localização da melhor região para este. O primeiro algoritmo identifica o local ideal de injeção de acordo com a minimização da resistência ao fluxo. O segundo algoritmo determina e recomenda locais de injeção adequados. Para a previsão da melhor localização do ponto de injeção é necessário ter em conta também a formação



de bolhas de ar e de linhas de soldadura. Caso estas estejam em locais que possa comprometer o bom comportamento mecânico da peça o ponto de injeção terá de ser reposicionado;

- **Tempo de enchimento:** é importante analisar o tempo necessário para preencher a peça, pois este terá influencia no valor da tensão de corte a que o material esta sujeito, que por sua vez irá afectar a viscosidade, a pressão e a temperatura deste no interior das cavidades, para além da qualidade parcial da peça (dimensões, estética, resistência mecânica, etc.)[30];
- **Tempo de ciclo:** Este é obtido pelo algoritmo de determinação do tempo necessário para atingir a temperatura de ejeção e engloba os tempos de injeção, de segunda pressão (compactação) e o arrefecimento. Este depende essencialmente do tempo de arrefecimento. Para a determinação do tempo de ciclo, é necessário ainda acrescentar a este os tempos de abertura do molde, extracção da peça, pausa e fecho do molde;
- **Degradação do material:** é necessário saber se o componente estará sujeito a alguma degradação que impeça a obtenção de um produto de qualidade. Para isso é preciso ter em conta as temperaturas na frente do fundido durante o enchimento que podem conduzir a uma degradação térmica do material, bem como das taxas de corte presentes no enchimento que podem levar à obtenção de um componente degradado e com propriedades reduzidas. Se a degradação do material for significativa é necessário fazer alterações à geometria ou nas condições de processamento;
- **Força de fecho:** os valores da força de fecho serão úteis para seleccionar a injetora mais adequada para a produção das peças, que por sua vez, permitirá estimar, numa fase final, os custos do projecto;
- **Pressão de injeção:** esta pressão é a força motriz necessária para superar a resistência criada pela material enquanto funde, de maneira a preencher a cavidade do molde na sua totalidade. Por essa razão é preciso perceber se está é suficiente para encher toda a peça, e por outro lado evitar a contracção do componente, para além de também ser útil na selecção da máquina de injeção. Esta depende de alguns factores como o material seleccionado, a geometria da peça e a temperatura do molde;
- **Chupado:** os chupados são distorções dimensionais que afectam essencialmente a estética superficial do material, sendo importante perceber até que ponto essa distorção pode ser relevante para a aparência deste.



- **Empeno:** o empeno é o resultado das tensões criadas durante o processo de moldação por injeção ou logo após a extracção da peça no molde, caso esta esteja muito quente. Este defeito deve ser analisado percebendo a sua relevância na diminuição das características e/ou propriedades do componente de forma a poder fazer alterações no projecto da peça, caso seja necessário. Existem, portanto, quatro factores principais responsáveis pelo empeno total das peças em cada nó e que devem ser analisados: contracção, arrefecimento, efeito canto e orientação do material. É importante perceber então qual destes factores é o principal responsável pelo empeno das peças fazendo uma análise de cada um deles, sendo que os efeitos causados pelo arrefecimento serão nulos uma vez que não foi definido um sistema de arrefecimento e por isso este não será considerado. No entanto esta também depende do material a ser processado (amorfo e semi-cristalinos), dos reforços a utilizar no composto, da aplicação da pressão no processo, bem como da geometria da peça. Será feita uma abordagem mais pormenorizada, ou seja, verificar a contribuição de cada um destes factores no empeno segundo, x, y ou z, tendo um foco maior no eixo em que o empeno é mais significativo, ou seja, na direcção das cargas aplicadas nos componentes.

Após estar ciente daquilo que é pretendido retirar do estudo da simulação é possível proceder à análise de cada um dos componentes do projecto.

1.1. Preparação do modelo para análise

No entanto, antes de se poder iniciar a simulação no *Moldflow* tem que se sujeitar cada um dos elementos em análise a algumas etapas, tendo em conta os resultados que se pretende obter, sendo estas: importação do modelo, geração e correcção da malha, escolha do material, definição do tipo de simulação pretendida, definição das condições de processamento e por fim dar início à análise [31] [32].

1.1.1. Importação do modelo e geração da malha

Inicialmente é criada uma pasta relativa ao projecto e os modelos obtidos pelo software CAD que devem ser importados para o *Moldflow* na forma de ficheiro STL. O primeiro passo é



então a geração de uma malha no modelo que divide a superfície da peça em elementos, nomeadamente triângulos no caso da simulação ser utilizada para discretizar a peça e/ou os postigos do molde. As dimensões dos elementos devem ser semelhantes de maneira a permitir uma melhor previsão dos resultados.

1.1.2. Correção da malha

Depois de gerada a malha é comum esta possuir alguns erros, nomeadamente intersecções, má orientação, espaços livres, entre outros. Por essa razão é necessário fazer uma análise à malha para verificar quais os parâmetros a corrigir. Esta análise é feita através de um resultado estatístico desta, podendo ser observados alguns desvios que deverão ser corrigidos. Um dos aspectos a salientar é a diminuição do parâmetro relativo à proporção dos triângulos (*aspecto ratio*), que, de maneira a que estes sejam aproximados, idealmente devem rondar o 1%, no entanto é aceitável valores a rondar os 15%. Na figura 42 está representado um exemplo dos resultados obtidos na análise estatística antes e após correção da malha de um dos componentes analisados neste projecto.

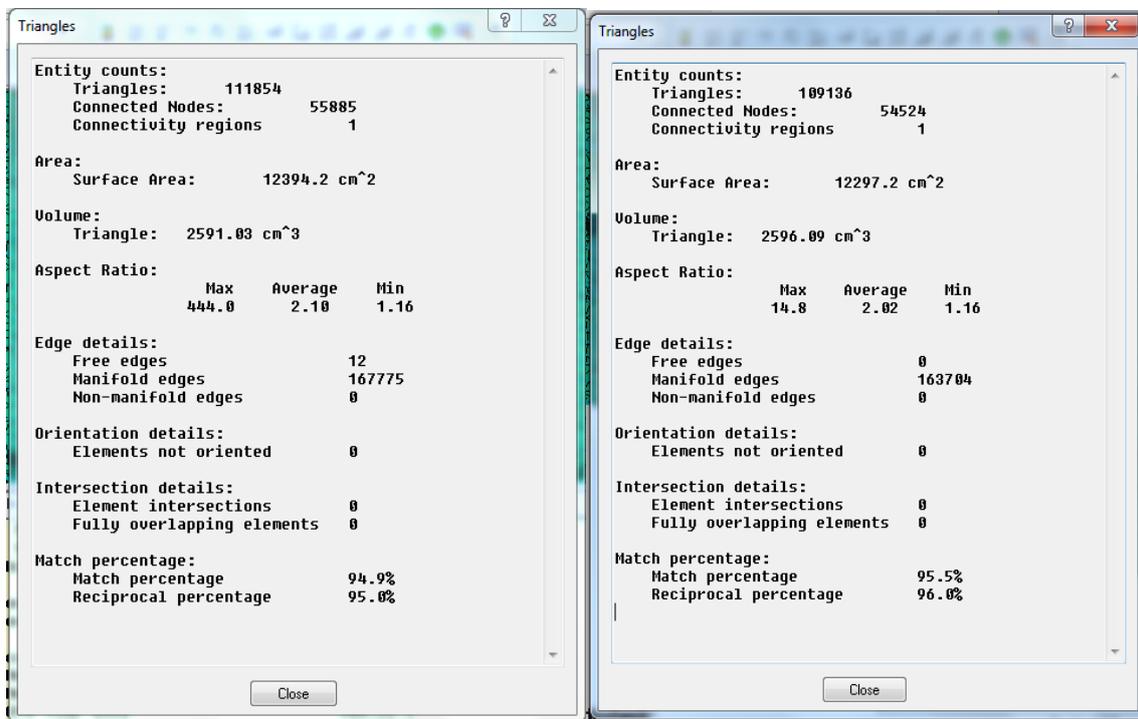


Figura 42 – Exemplo dos resultados estatísticos de uma malha gerada para um componente antes e depois de ser corrigida, respectivamente.



1.1.3. Definição do tipo de simulação

Dependendo do tipo de estudo que se pretende o tipo de simulação pode variar, sendo importante uma selecção. As simulações podem variar entre enchimento, compactação, arrefecimento, previsão da localização do ponto de injeção ou previsão da janela de processamento.

1.1.4. Escolha do material

O *Moldflow* possui uma biblioteca extensa com diversos materiais, respectivos graus e fornecedores, sendo necessário seleccionar a matéria-prima pretendida, dependendo da que foi seleccionada em etapas anteriores.

1.1.5. Definição das condições de processamento

De maneira a poder obter os resultados o mais próximo da realidade é necessário ter um controlo sobre as condições de processamento. Alguns parâmetros são definidos automaticamente pelo software tendo em conta as características do material seleccionado. No entanto estas podem ser alteradas consoante as requisições do projecto. Algumas condições de processamento seleccionadas num estudo de um componente (pedal 1) relativo a este projecto podem ser observadas na figura 43.

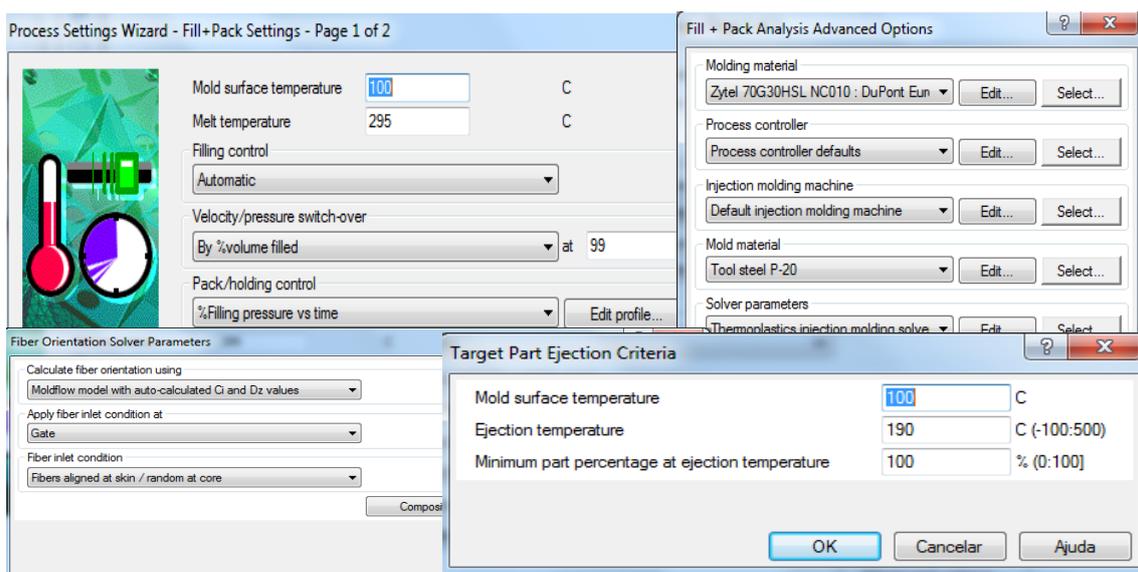


Figura 43- Exemplo da reformulação das condições de processamento.



1.2. Análise dos componentes e apresentação dos resultados

De seguida os resultados obtidos no *Moldflow* para cada um dos três componentes do sistema de abertura de portas são apresentados e analisados no sentido de obter peças que satisfaçam o cliente e que sejam aprovadas nos testes de qualidade, conforme especificações definidas numa fase primordial.

1.2.1. Pedal 1

Estas simulações foram realizadas a uma temperatura de injeção de 295°C e uma temperatura do molde de 100°C. Os resultados obtidos para o pedal 1 serão mostrados e discutidos a seguir.

1.2.1.1. Localização do ponto de injeção

Após preenchidos todos os dados referentes à simulação foi obtido um gráfico de resistência ao fluxo de maneira a perceber o melhor sitio para a localização do ponto de injeção. Como podemos verificar pelo gráfico da figura 44 a) a resistência aumenta do centro da peça até as suas extremidades, possuindo uma resistência ao fluxo reduzida no centro da peça. A sustentabilidade do ponto de injeção é tanto melhor quanto menor essa resistência ao fluxo, que se dá, neste caso, no centro da peça, e por essa razão este é de facto o melhor sitio para a localização do ponto de injeção, podendo ser localizado tanto na parte interna como na externa da peça. Pela lógica da estética do material, uma vez que o ponto de injeção para além de ser um ponto de fraqueza do material, deixa uma pequena marca da entrada de fluxo de material, este deveria ser localizado na parte interna da peça pois esta não será visível e não requer uma boa qualidade superficial. No entanto, tendo em conta o projecto de moldes e o processo de extracção da peça, se o ponto de injeção for localizado na parte interna, a extracção da peça será feita na direcção do bico de injeção e os extractores deixarão as marcas da extracção na parte superficial desta. Considerando que as marcas deixadas pelos extractores são, geralmente, mais significativas que propriamente a do ponto de injeção é preferível que este se localize então na parte externa. Foi então especificado um ponto de injeção e a sua localização está evidenciado na figura 44 b) pelo ponto a amarelo.

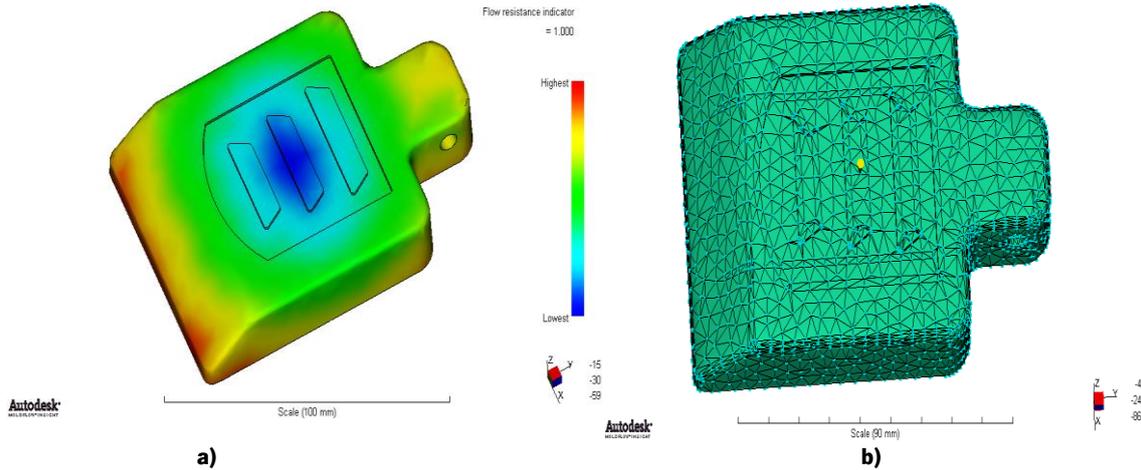


Figura 44 – Simulação da previsão do ponto de injeção para o pedal 1: **a)**- Gráfico da resistência ao fluxo **b)**- Localização ideal para o ponto de injeção.

No entanto esta previsão do ponto de injeção não considera os pontos de retenção de ar, nem as linhas de soldadura, e uma vez que estes são critérios importantes para a decisão da melhor localização para o ponto de injeção é necessário fazer uma análise a esses dois critérios e se necessário reposicionar o ponto de injeção de maneira a que estes não prejudiquem o bom desempenho da peça. A formação das bolhas de ar verifica-se essencialmente nas zonas mais finas do componente, ou nos últimos locais onde se dá o enchimento, devido à difícil expulsão desses gases nesse tipo de zonas. Esta afirmação é comprovada pela análise da figura 45 tendo em conta que o fluxo é iniciado na parte superficial da peça. Podemos concluir que em nada a formação destas bolhas de ar prejudica o desempenho da peça, uma vez que se encontram em zonas não visíveis e que não são sujeitas a elevadas solicitações mecânicas.

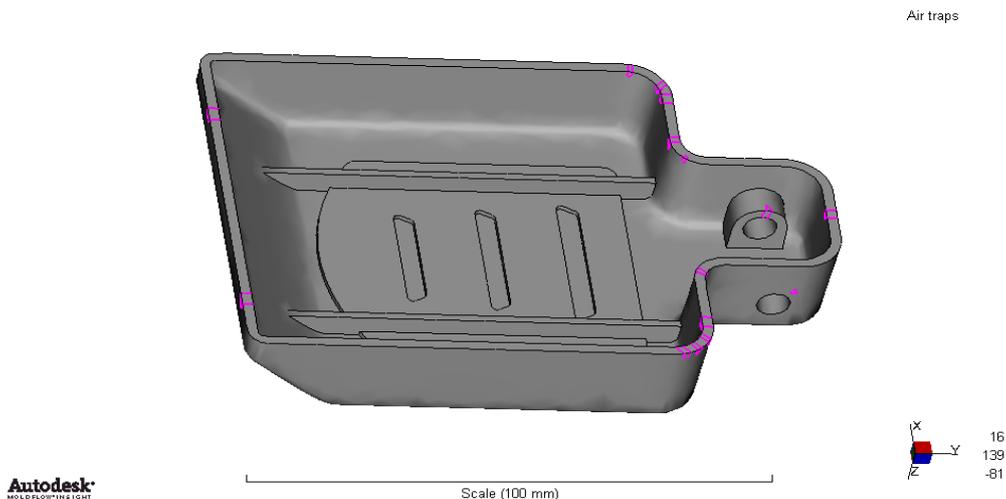


Figura 45- Pontos de retenção de ar no pedal 1



Por outro lado, as linhas de soldadura podem surgir sempre que duas frentes de fluxo se encontram, podendo também ser geradas devido à existência de pontos de retenção de ar. O aparecimento das linhas de soldadura, para além de representarem um defeito superficial não aceitável, tornam a peça frágil nessa zona, podendo dar-se a ruptura da mesma. Para disfarçar ou deslocar estas linhas pode-se aumentar a espessura da peça em zonas estratégicas ou mudar a posição do ponto de injeção. Melhorar a qualidade das linhas de soldadura é possível aumentando a temperatura do molde e do fundido, possibilitando que as frentes de fluxo que se encontram possam difundir-se mais entre si [13]. Pela análise da figura 46 podemos concluir que as linhas de soldadura formam-se essencialmente em zonas de furos. Tendo em conta que as linhas de soldadura são inevitáveis nessas zonas, a única solução seria aumentar a espessura ou mudar a posição de ataque. A temperatura à frente de escoamento é um dos parâmetros mais importantes que influenciam a qualidade da linha de soldadura. Para garantir uma elevada qualidade da soldadura, a temperatura na frente do fundido, quando a linha de soldadura é formada, não pode ser 5 ° C inferior à temperatura de fusão ideal do material, ou seja, neste caso, essa temperatura não poderia descer abaixo dos 290°C. Apesar de estas linhas não serem localizadas em zonas de risco, por uma questão de precaução, mais à frente a existência ou não desse aumento de temperatura será considerado, no entanto para já é indispensável qualquer alteração, ficando o ponto de injeção no mesmo sitio que a previsão inicial.

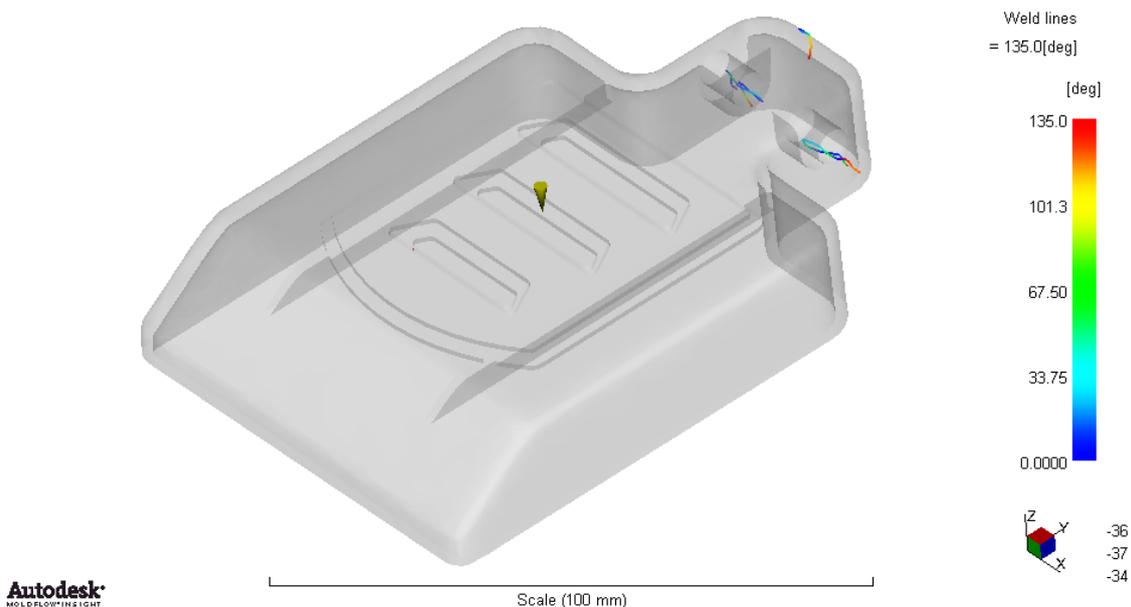


Figura 46- Linhas de soldadura presentes no pedal 1.



1.2.1.2. Tempo de enchimento

Pela análise das figuras 47, verifica-se que o tempo que o fundido demora a preencher as cavidades do molde, durante a fase de processamento, até os modelos estarem completamente preenchidos, no pedal 1 é de sensivelmente 1,2 segundos, sendo que as zonas identificadas a azul representam as fases iniciais do escoamento e, a vermelho as zonas mais distantes da localização do ponto de injeção correspondentes às fases finais da moldação quando o enchimento da cavidade se encontra completo.

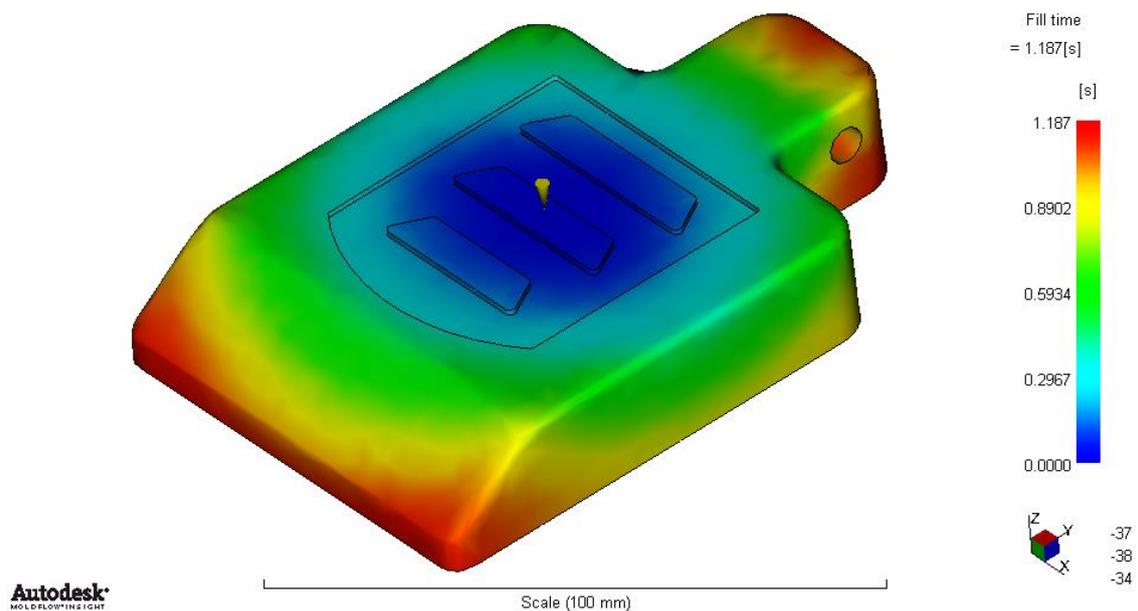


Figura 47- Tempo de enchimento na moldagem do pedal 1.

1.2.1.3. Tempo de ciclo

O tempo de ciclo é determinada pelo somatório dos tempos das diversas etapas do processo de injeção, sendo o tempo de arrefecimento que mais terá influencia neste tempo. O tempo de ejeção é analisado através do gráfico que representa o tempo necessario para atingir a temperatura de ejeção. Como este depende essencialmente do tempo de arrefecimento da peça, as seções da peça que demoram mais a arrefecer são as responsáveis pelos tempos de ejeção, e consecuentemente, tempos de ciclo elevados. O componente começa a arrefecer quando o fundido entra em contacto com as paredes frias do molde e, quanto mais lento se efectuar esse arrefecimento, menor será a orientação das moléculas do polímero devido ao facto



de haver um maior tempo para as moléculas relaxarem. Por outro lado, as últimas zonas a serem preenchidas normalmente apresentam tempos de arrefecimentos mais reduzidos, devido ao facto de a temperatura do fundido, nesse local, já apresentar temperaturas mais reduzidas, e por isso não são as responsáveis pelo aumento do tempo de ciclo. Como se pode visualizar na figura 48 as zonas onde o tempo de arrefecimento é maior encontram-se na parte interna do furo. Esses valores podem ser explicados devido ao facto de nessa zona existir uma espessura mais elevada da parede arrefecendo mais lentamente. O ideal seria manter uma espessura uniforme ao longo dos modelos para não haver uma diferença considerável no tempo de arrefecimento ao longo das peças. O tempo de ciclo para o pedal 1 é então de 38,9 segundos.

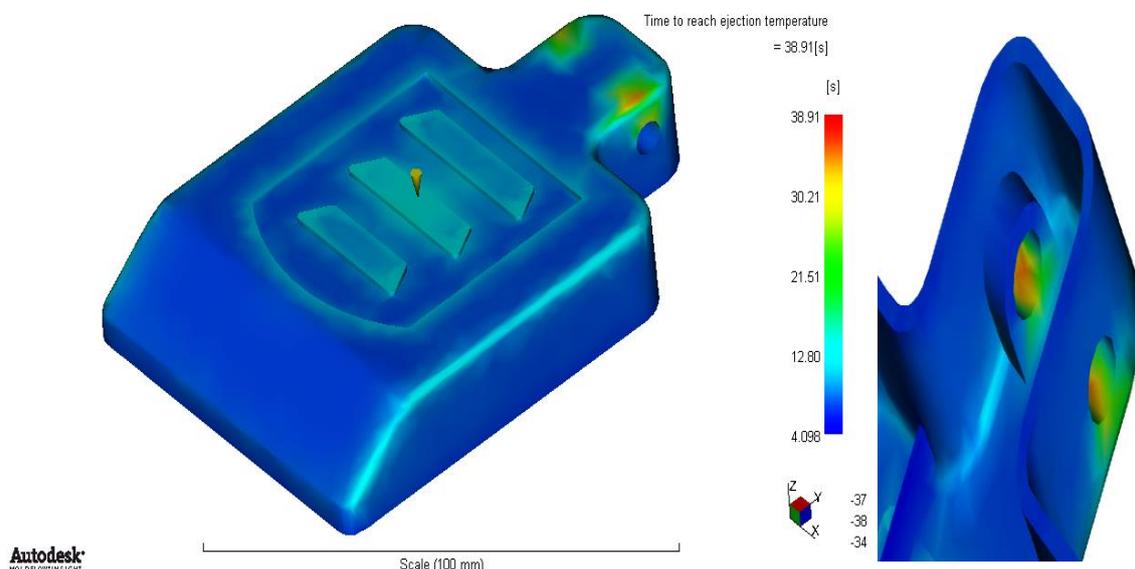


Figura 48- Tempo necessário para atingir a temperatura de ejeção.

No entanto para a determinação do tempo de ciclo é necessário também considerar o tempo de abertura do molde, de extração, de pausa e de fecho do molde. Contudo estes são tempos que, teoricamente, não são possíveis de determinar. Por essa razão, e com recurso à experiência de elementos da empresa, foi possível estipular um tempo de ciclo para o pedal 1 de aproximadamente 60 s.

1.2.1.4. Degradação do material

Para a análise da degradação do material são então tidas em consideração a temperatura na frente do fundido e as taxas de corte a que o componente está sujeito, presentes nas figuras



49 e 50, respectivamente. Como é possível verificar pela análise do gráfico obtido para o pedal 1 presente na figura 49, a temperatura do fundido aumenta, até cerca do meio da peça, e conseqüentemente vai diminuindo até as últimas zonas da peça a encher, sendo que temperatura de fusão do fundido é de 295⁰C. A temperatura no início do enchimento não sofre nenhum aumento significativo derivado da dissipação viscosa e encontra-se na gama de temperaturas admissíveis pelo fornecedor do material, por isso não existe degradação térmica considerável no material. Podemos verificar que a temperatura máxima atingida pelo fundido é precisamente a mesma que temperatura ideal de fusão. Por outro lado, a temperatura mínima atingida por certas partes do componente é cerca de 1°C inferior à temperatura ideal de fusão, e por isso podemos concluir que as linhas de soldadura formadas nessas zonas não representam um problema para o desempenho do componente.

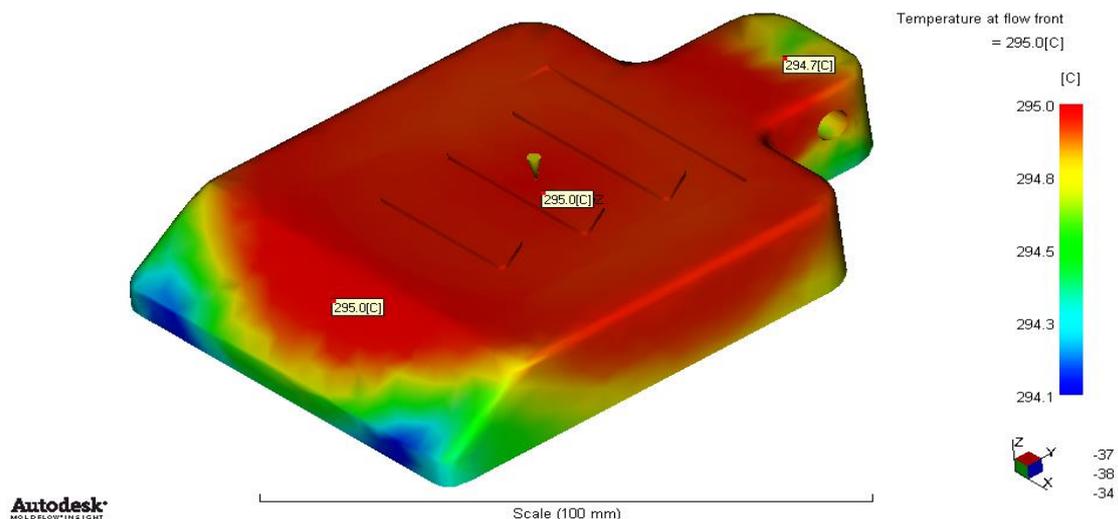


Figura 49- Temperaturas na frente do fundido no pedal 1.

Relativamente á deformação causada pelas taxas de corte do material pode ser considerada quase nula. Pela observação da figura 50 verifica-se que não existem praticamente taxas de corte, com excepção da zona do ponto de injeção que rondam os 1000 s⁻¹. Essas podem ser explicadas devido as suas dimensões mais reduzidas, sendo que o fluxo ao entrar nessa zona gera taxas de corte. Estes valores começam a diminuir até um valor mínimo que se verifica no centro do escoamento, devido ao facto das cadeias poliméricas na zona central do escoamento fluírem à mesma velocidade e não se moverem umas em relação às outras. No entanto os valores os valores máximos verificados são inferiores ao aconselhado para o material utilizado, sendo que não deverão ocorrer problemas durante o escoamento do fluido.

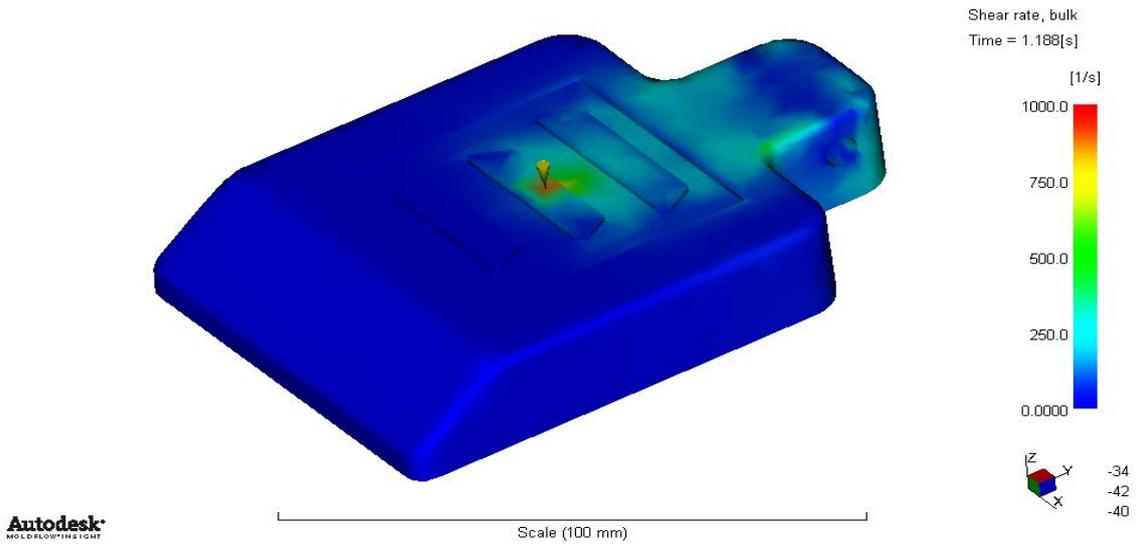


Figura 50- Taxas de corte presentes no pedal 1.

1.2.1.5. Pressão de injeção

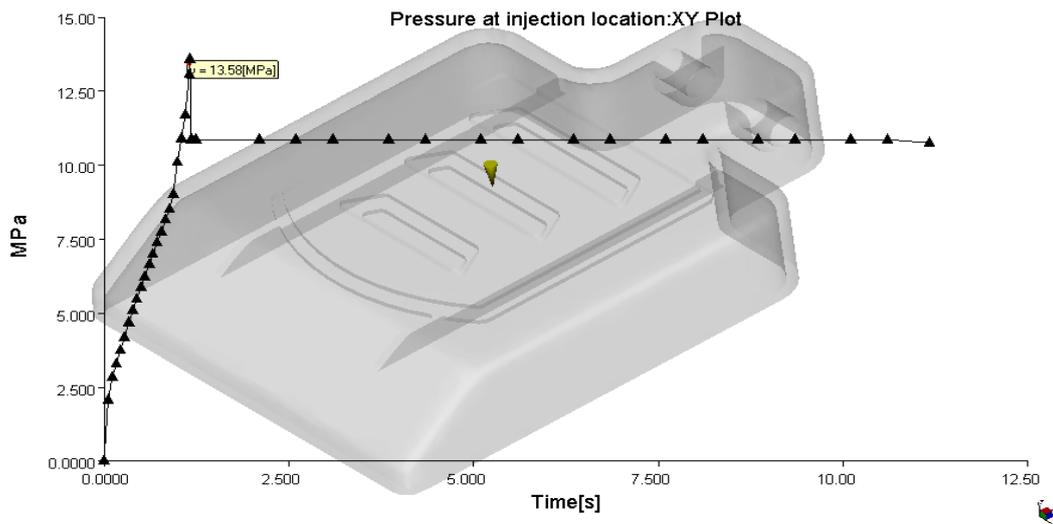


Figura 51- Pressão de injeção no pedal 1.

Como se verifica pela análise do gráfico da figura 51, a pressão aumenta ao longo do enchimento, sendo a pressão máxima cerca de 13,6 MPa. Após o enchimento dá-se a fase de compactação. Entre a fase de enchimento e compactação dá-se a comutação onde 80% da pressão atingida no enchimento é usada na compactação durante 10 segundos do tempo de ciclo, sendo nesta fase a pressão é constante e aproximadamente de 11 MPa. Após a compactação existe a fase de arrefecimento (não visível no gráfico) onde a pressão será nula. A pressão de



injecção será uma informação usada na selecção da máquina de injecção demonstrada mais para a frente.

1.2.1.6. Força de fecho

Pelo gráfico da figura 52, verifica-se que no fim do enchimento das duas cavidades é quando se necessita de maior força de fecho, aproximadamente 8,8 toneladas, pois é neste instante em que a pressão de injecção é máxima. Assim, é necessário o uso de uma máquina que suporte esta força de fecho, sendo que a selecção da máquina será demonstrada mais a frente. Quando se tem como especificação, ou caso venha a ser necessário o uso de uma força de fecho mais baixa, como solução, pode-se aumentar o tempo de enchimento e/ou diminuir a velocidade de injecção.

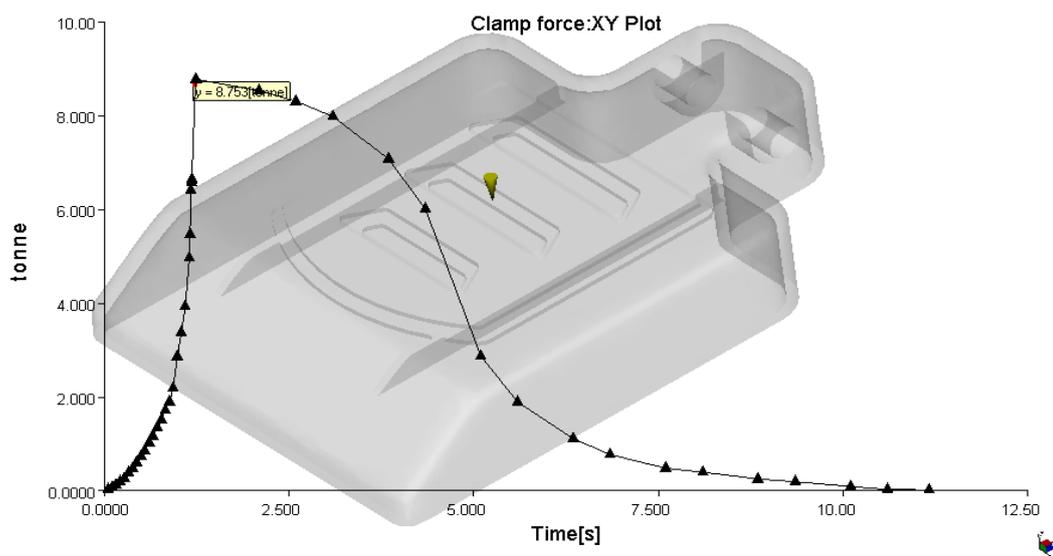


Figura 52- Força de fecho para o pedal 1.

1.2.1.7. Chupados

O aparecimento de chupados pode de facto prejudicar a boa estética da peça apresentando-se como depressões na superfície. O gráfico da figura 53 mostra a previsão das zonas sujeitas ao aparecimento destas distorções. É possível verificar que o aparecimento destes se dá maioritariamente nas zonas onde existe maior acumulação de material (nas zonas das nervuras e na zona do furo). Estas depressões podem ser controladas através de um bom arrefecimento, tempo de ciclo adequado e uma pressão de injecção apropriada para o correcto processamento



das peças. No entanto estas distorções são insignificantes com valores entre os 0,02 mm e 0,099 mm, sendo que não foram visualizados chupados que pudessem prejudicar de forma significativa a estética do material.

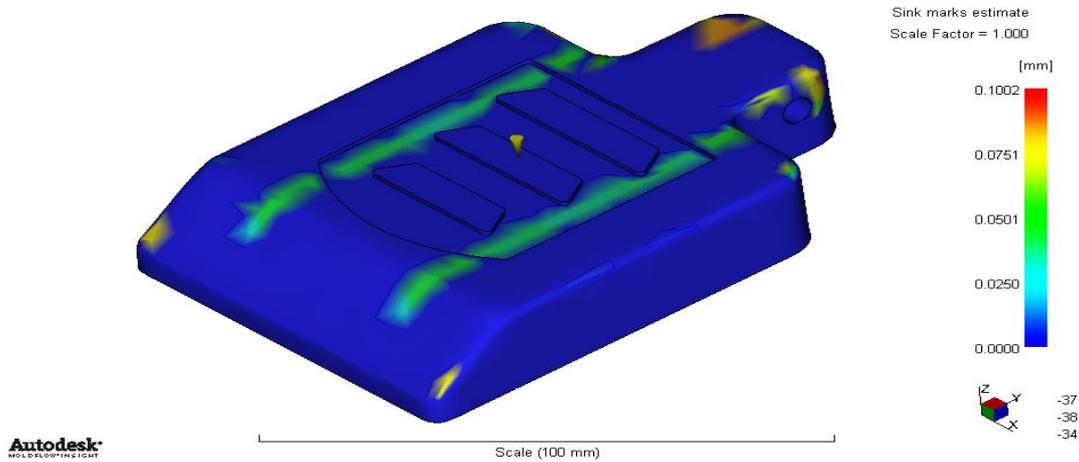


Figura 53- Previsão de aparecimento de chupados no processo de moldação por injeção do pedal 1.

1.2.1.8. Empeno

A análise do empeno do material tem início com o estudo do efeito da contracção do material no eixo onde este é máximo, segundo o eixo do z, demonstrado na figura 54. Podemos verificar que o empeno sofrido, neste caso no eixo dos zz é linear, sendo que parte superior da peça (a azul no gráfico) tem tendência a deslocar-se 0,05 mm no sentido negativo e a parte inferior (a vermelho no gráfico) sofre um deslocamento de material de aproximadamente 0,1 mm. Embora exista deflexão esta não é significativa ao ponto de exigir alterações no componente no sentido de reduzir a contracção do material, uma vez que este empeno é visto somente com um ligeiro encolhimento do material.

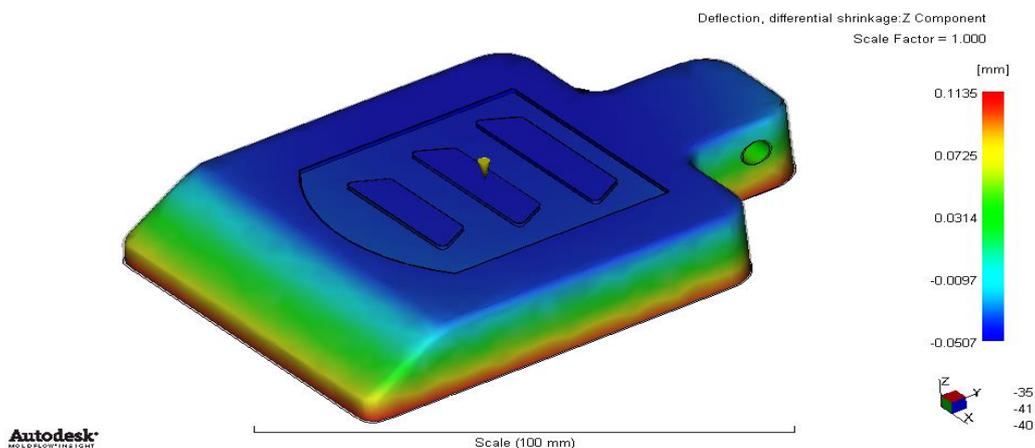


Figura 54- Deflexão causada pela contracção no eixo dos zz.



As deflexões devido à contracção do material segundo x e y podem também ser visualizadas na figura 55 **a)** e **b)** respectivamente. Nestes casos passa-se o mesmo que segundo z, apesar de em direcções diferentes. Segundo x o material tem tendência a deslocar material 0,28 mm tanto no sentido positivo (zona a vermelho) como no sentido negativo (zona a azul), sendo que isto resulta numa contracção uniforme do material neste sentido. Segundo y, acontece exactamente o mesmo, só que o material tende a deslocar-se mais uns milímetros nesta direcção (0,4 mm) devido ao facto de os efeitos de contracção serem maiores segundo este eixo (efeito de geometria, acumulação de material, etc.)

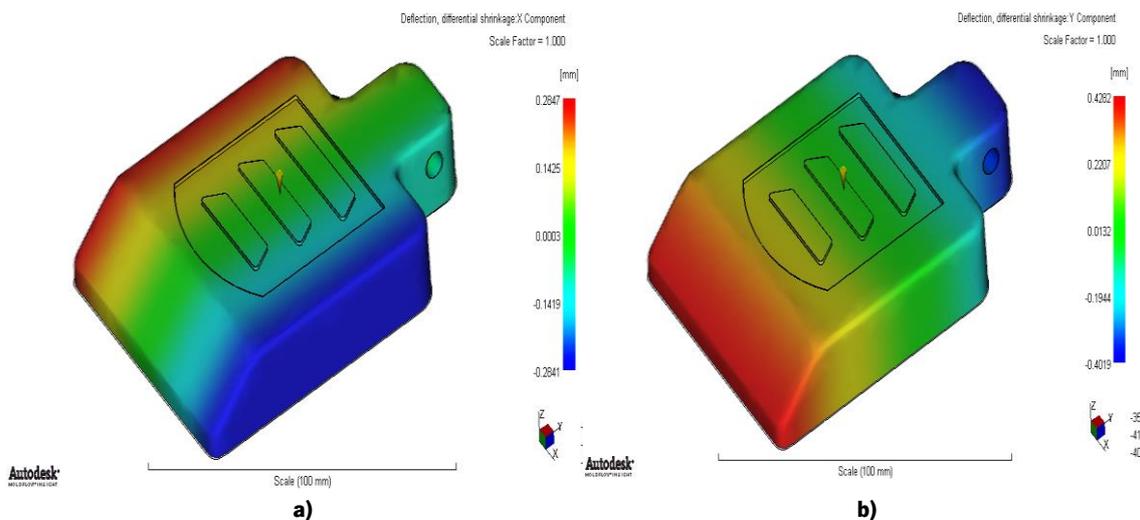


Figura 55- Deflexão causada pela contracção: **a)** no eixo dos xx. **b)** no eixo dos yy.

De seguida foi analisada a deflexão da peça devido à orientação do material, uma vez que se trata de uma peça que utiliza um material reforçado com fibras de vidro. No caso de materiais reforçados com fibra de vidro, o efeito das diferenças de espessura sobre a contracção é relativamente pequeno, sendo, a principal causa de empeno a diferença entre a orientação longitudinal e transversal da fibra. A orientação das fibras de vidro é determinada pela direcção do fluxo, resultando numa dependência da direcção nas propriedades da peça (anisotropia), geralmente mais elevadas na direcção do fluxo que na direcção transversal. No entanto os polímeros reforçados com fibras de vidro apresentam condições opostas, sendo que a contracção na direcção do fluxo é menor do que a contracção transversal, devido a essa orientação das fibras. Esta contracção diferenciada leva ao empeno da peça. Para além disso a simetria da peça moldada também é importante, sendo que peças assimétricas provocam a alteração do fluxo e a orientação do material, causando o empeno. Tudo isto pode ser comprovado pela análise da figura 56, que representa a deflexão do material devido ao efeito da orientação segundo o eixo dos zz, e onde se



pode notar que a peça tem tendência a deformar 0,21 mm nos dois sentidos nas zonas perpendiculares à direcção do fluxo. Uma vez que esta depende da geometria da peça, é possível notar também que ocorre uma maior deformação no centro desta, pois não possui qualquer apoio.

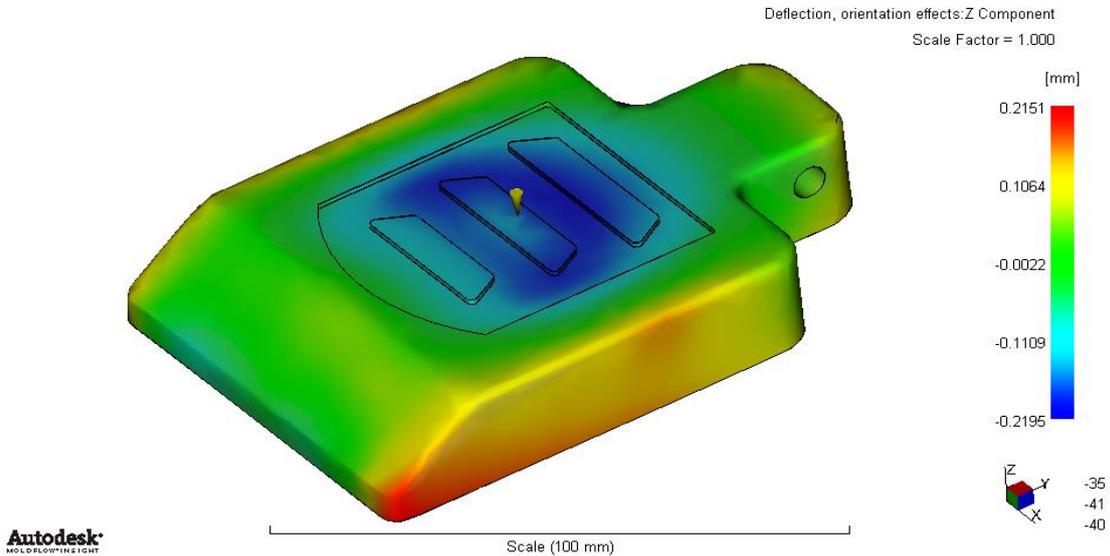


Figura 56- Deflexão causada pela orientação do material no eixo dos zz.

As deflexões causadas pela orientação do material segundo x e y, estão representadas na figura 57 **a)** e **b)** respectivamente. Segundo x o deslocamento do material, tendo em conta a sua geometria, dá-se na direcção transversal ao fluxo, essencialmente numa região sem apoio. Por outro lado, segundo y essa alteração nas dimensões da peça ocorre em zonas onde ocorre a mudança da direcção do fluxo. No entanto estes deslocamentos são reduzidos, possuindo valores entre 0,2 a 0,3 mm.

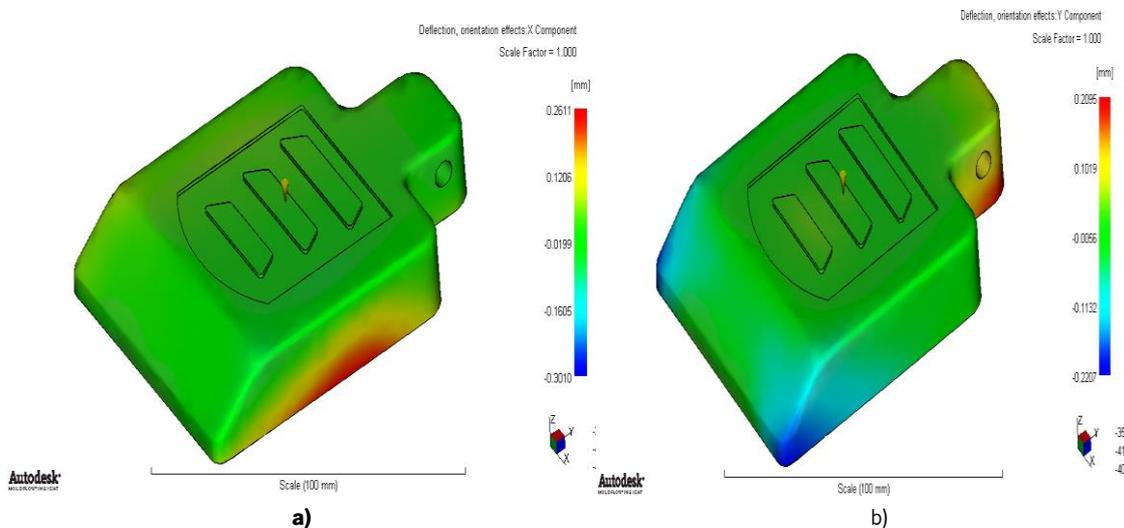


Figura 57 – Deflexão causada pelos efeitos de canto no eixo dos zz.



Por último é abordada a deflexão da peça causada pelos efeitos de canto. A transição de paredes, e respectivamente os cantos resultantes dessa transição também podem ser responsáveis pelo empeno da peça, se essa transição ocorrer de uma forma mais brusca. Da análise dessa deformação segundo o eixo dos zz, exibida na figura 58, vemos que a zona mais critica é a transição de paredes a cor vermelha no gráfico. Para contrariar esse efeito o ideal seria o aumento do raio, no entanto o deslocamento de 0,2 mm não justifica essa alteração, uma vez que este já possui um raio razoável.

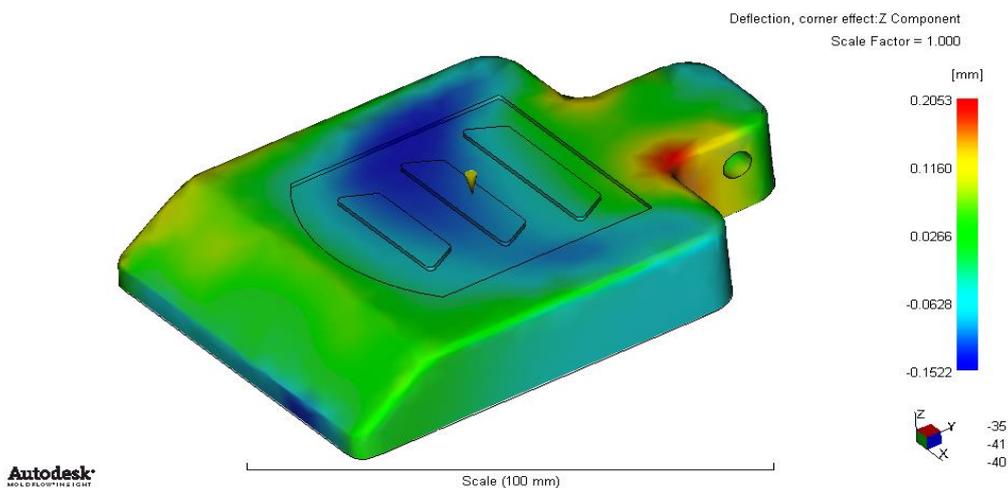


Figura 58 - Deflexão causada pelos efeitos de canto.

Quanto às deflexões causadas pela orientação do material segundo x e y, representadas na figura 59 **a)** e **b)** respectivamente, verificamos que tanto segundo o eixo dos xx como dos yy a deflexão se dá essencialmente na parte de apoio da peça, uma vez que esta possui um raio de curvatura ligeiramente inferior que nas restantes seções da peça.

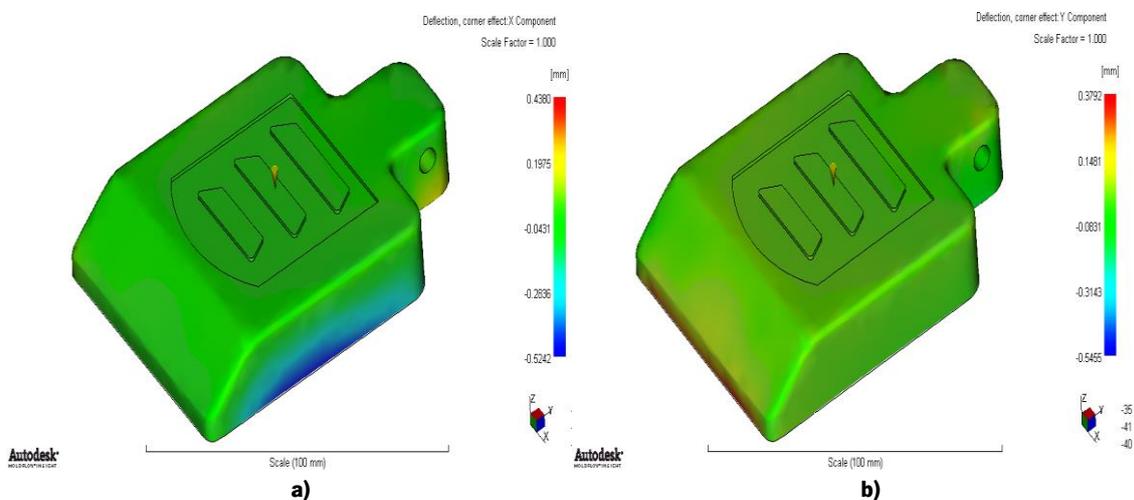


Figura 59- Deflexão causada pelos efeitos de canto: **a)** no eixo dos xx. **b)** no eixo dos yy



1.2.2. Pedal 2

Estas simulações foram realizadas a uma temperatura de injeção de 295°C e uma temperatura do molde de 100°C. Os resultados obtidos para o pedal 2 serão mostrados e discutidos a seguir.

1.2.2.1. Localização do ponto de injeção

Da mesma forma que o componente anterior, o pedal 2 foi sujeito a uma simulação, sendo que o gráfico resultante para a resistência ao fluxo para este componente encontra-se na figura 60 a). Como é sabido o ponto de injeção deve ser idealmente localizado numa zona onde existe uma menor resistência ao fluxo e por essa razão na simulação foi sugerido a localização do ponto de injeção no centro da parte interna da peça. No entanto, como já foi dito numa análise anterior, este deve ser localizado preferencialmente na parte superficial da peça, uma vez que, neste caso, é preferível a visualização da marca deixada pelo ponto de injeção do que a provocada pelos elementos utilizados na extracção da peça. Por fim é importante referir que o ponto sugerido inicialmente pelo software foi também reposicionando de forma a que o enchimento fosse o mais uniforme possível e preenche-se a peça na sua totalidade. Este foi então colocado no local representado na figura 60 b) pelo ponto amarelo.

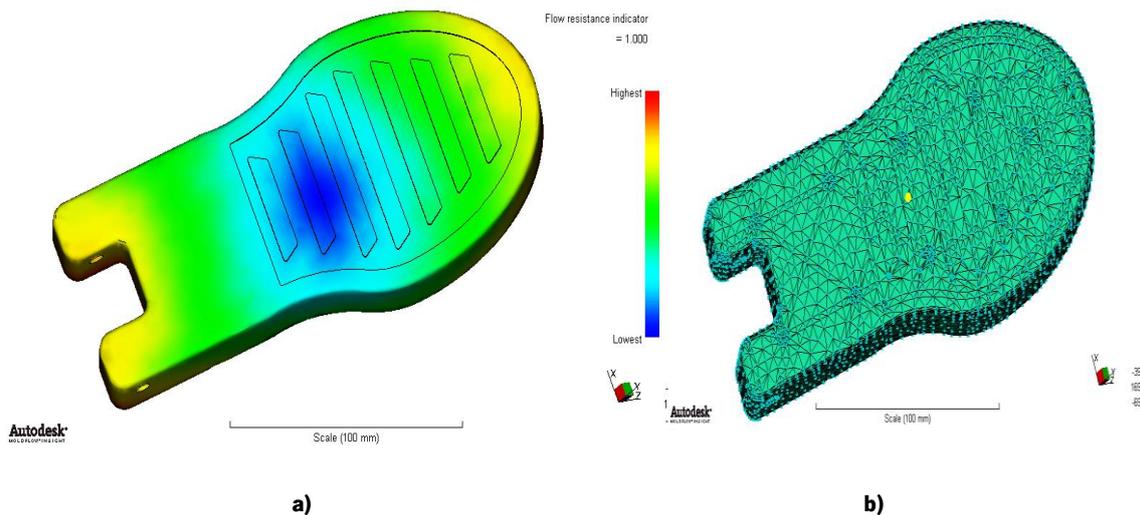


Figura 60 - Simulação da previsão do ponto de injeção para o pedal 1: **a)**- Gráfico da resistência ao fluxo **b)**- Localização ideal para o ponto de injeção.



Tal como no componente anterior, esta previsão do ponto de injeção não considera os pontos de retenção de ar, nem as linhas de soldadura, e sendo estes critérios importantes para a decisão da localização do ponto de injeção é feita também uma análise a esses dois critérios. Pela observação da figura 61 é possível verificar que os pontos de retenção de ar no pedal 2 localizam-se nas zonas onde o enchimento ocorre em último lugar. No entanto em nada a formação destas bolhas de ar prejudica o desempenho desta peça, uma vez que se encontram em zonas não visíveis e que não são sujeitas a elevadas solicitações mecânicas. Apesar disso, para solucionar ou diminuir a existências destas bolhas de ar, é sugerido no projecto do molde a colocação de escapes de gases de modo a garantir o enchimento completo da peça.

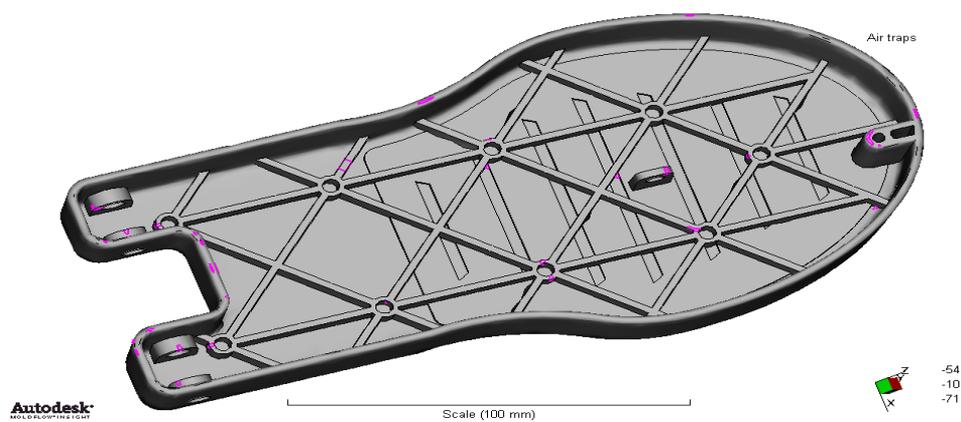


Figura 61 – Pontos de retenção de ar no pedal 2.

A existência destes pontos pode levar a formação de linhas de soldadura. Estas linhas, geradas na injeção do pedal 2 encontram-se essencialmente na zona de furos ou em zonas de parede mais fina (nervuras), como se pode visualizar na figura 62. Apesar disso estas não prejudicam o desempenho da peça não sendo necessário nenhuma alteração, no entanto é necessário também verificar se a temperatura do fundido mantém-se dentro da gama de temperaturas de fusão ideal ($>290\text{ }^{\circ}\text{C}$), pois as linhas de soldadura formadas abaixo dessa temperatura já podem ser prejudiciais.

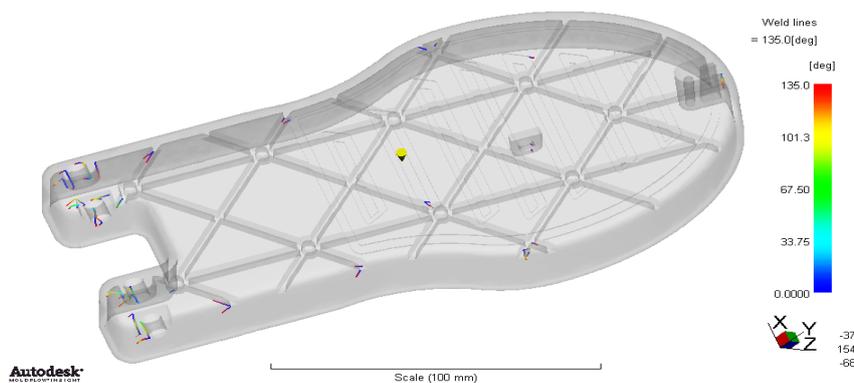


Figura 62- Linhas de junta do componente pedal 2.



1.2.2.2. Tempo de enchimento

Para o pedal 2, o tempo de é de aproximadamente 1,8 s, sendo possível visualizar na figura 63 a distribuição de fluxo ao longo do tempo no componente, sendo as zonas a vermelho as ultimas a ser preenchidas. Foi possível verificar que a peça enche na sua totalidade.

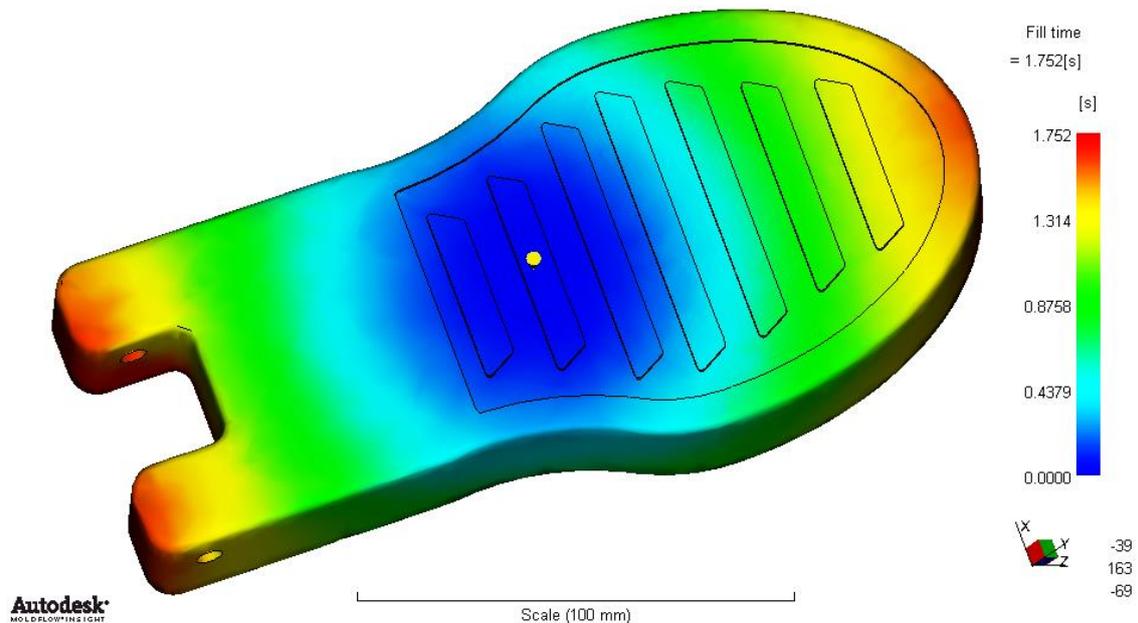


Figura 63 –Tempo de enchimento na moldação do pedal 2

1.2.2.3. Tempo de ejeção

O tempo de ejeção para o pedal 2 é então de 67,9 segundos como pode ser analisado na figura 64. Tal como no componente anterior, a parte interna do furo é a ultima a arrefecer devido às maiores espessuras causadas pelo prolgamento do furo, e por sua vez são as responsáveis pelo aumento de tempo de ciclo. É possível verificar que as zonas mais proximas do ponto de injeção demoram mais tempo a atingir a temperatura de ejeção que as restantes zonas na sua generalidade. Esse facto é explicado pelo facto de a temperatura do fundido nessas zonas ser superior que nas restantes e por isso tempo de arrefecimento vai ser maior também, tendo em conta que o tempo de ejeção e de ciclo depende essencialmente do arrefecimento.

Para a estipulação do tempo de ciclo foi entrão acrescentados a este tempo de injeção os tepos de abertura do molde, extração, pausa e abertura do molde, resultando então num valor de aproximadamente 100 s (1 minuto e 40 segundos).

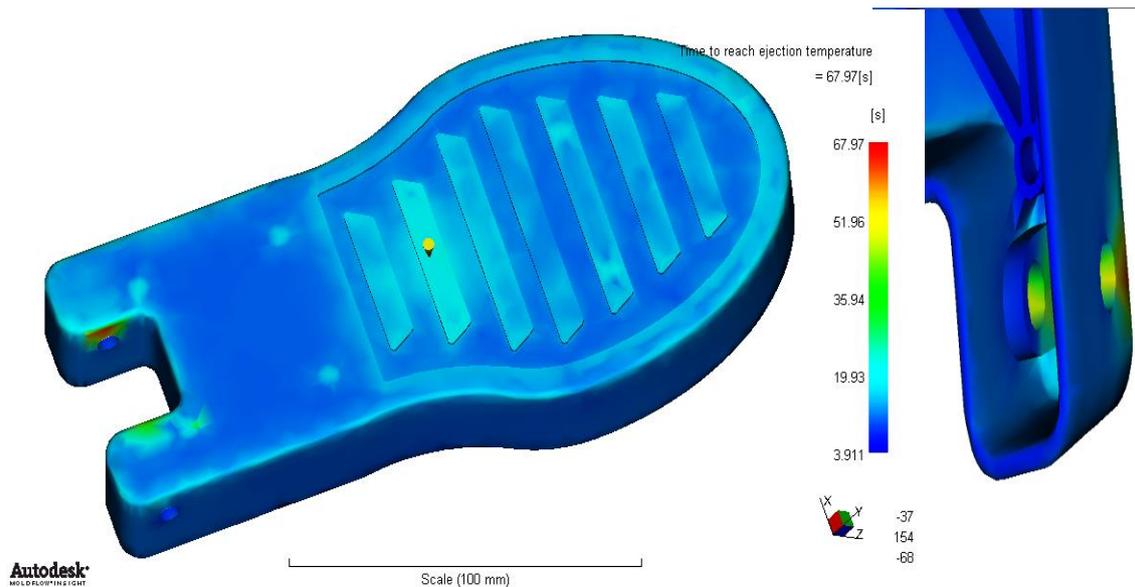


Figura 64- Tempo necessário para que o pedal 2 atinja a temperatura de ejeção.

1.2.2.4. Degradação do material

Como já foi referido o material pode sofrer degradar devido às temperaturas acima da temperatura admissível pelo material (degradação térmica) ou devido as elevadas taxas de corte. Pela análise da figura 65, a temperatura que pedal 2 atinge não excede a gama de temperatura admissível presente na ficha técnica do grau de Poliamida 6.6 seleccionada (280-300 °C). Por essa razão é possível admitir que não haverá degradação térmica no componente. Neste caso, a temperatura máxima atingida pelo fundido é igual à de fusão (295°C). Já à temperatura mínima atingida em certas zonas do componente é 293,7°C, sendo que não é necessário existir qualquer tipo de preocupação com as linhas de soldadura, pois esta não excede os 5°C abaixo da temperatura ideal de fusão

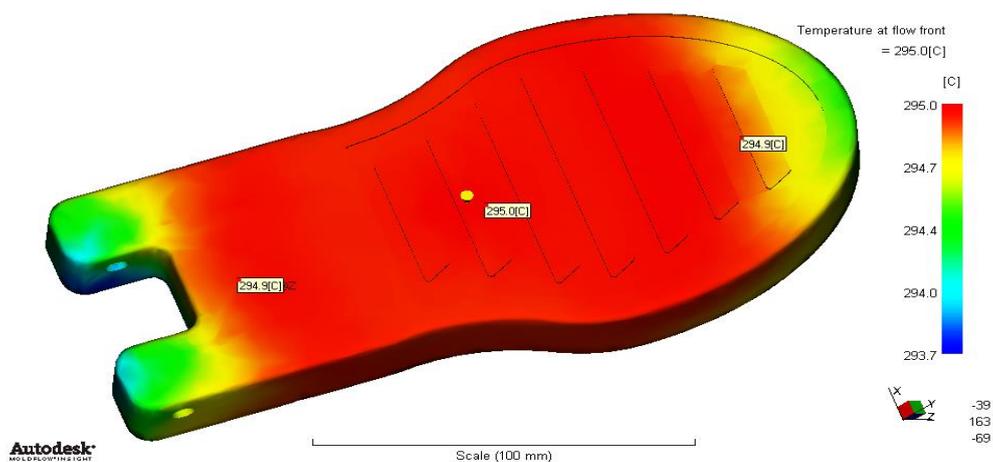


Figura 65- Temperatura na frente do fundido no pedal 2.



Quanto as taxas de corte presentes no pedal (figura 66), estas são quase inexistentes. No local de ataque devido as suas dimensões reduzidas existem taxas de corte que rondam os 1500 s^{-1} , causadas pela entrada de fluido. Caso estas fossem prejudiciais ao componente a solução seria aumentar o diâmetro de injeção.

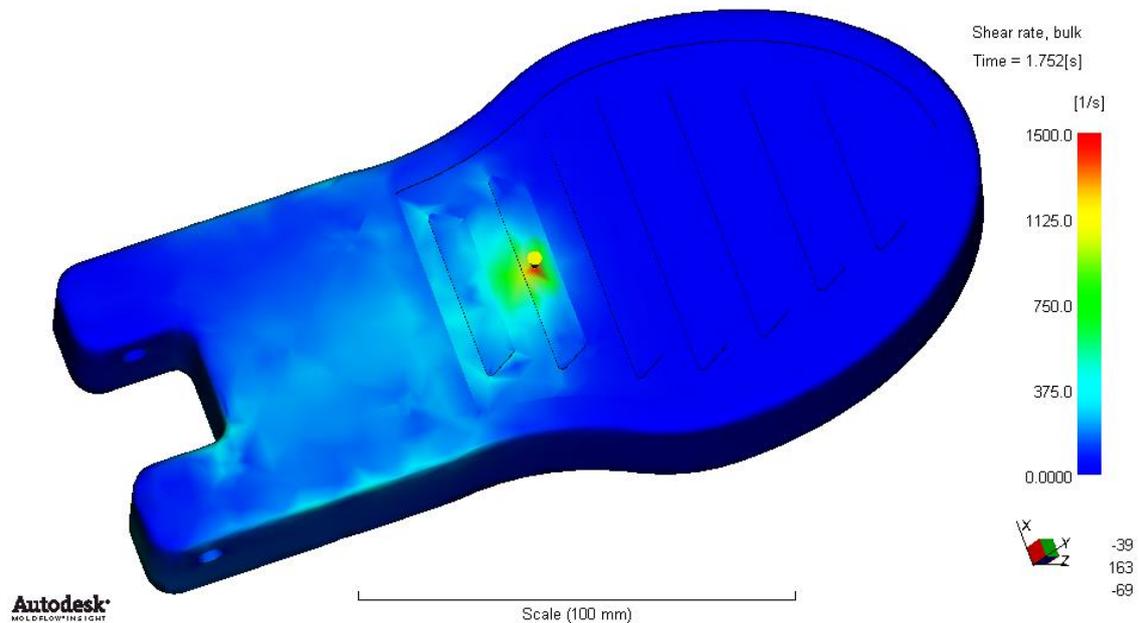


Figura 66- Taxas de corte presentes no pedal 2.

1.2.2.5. Pressão de injeção

A pressão de injeção aumenta ao longo do enchimento, atingindo a pressão máxima nessa fase. Neste caso como podemos ver pela figura 67 a pressão de injeção máxima é cerca de 21,6 MPa. É possível verificar que a pressão de injeção necessária para promover o preenchimento da cavidade pelo material fundido neste caso é superior, comparativamente ao componente anterior, devido ao facto de a peça em questão apresentar uma geometria mais complexa e o fluxo de material fundido ser dificultado com a presença de uma maior quantidade de nervuras de parede fina. Tal como no componente anterior foi definido que na comutação, 80% da pressão atingida no enchimento é usada na compactação durante 10 segundos do tempo de ciclo, sendo que nesta fase a pressão é constante e aproximadamente de 16 MPa.

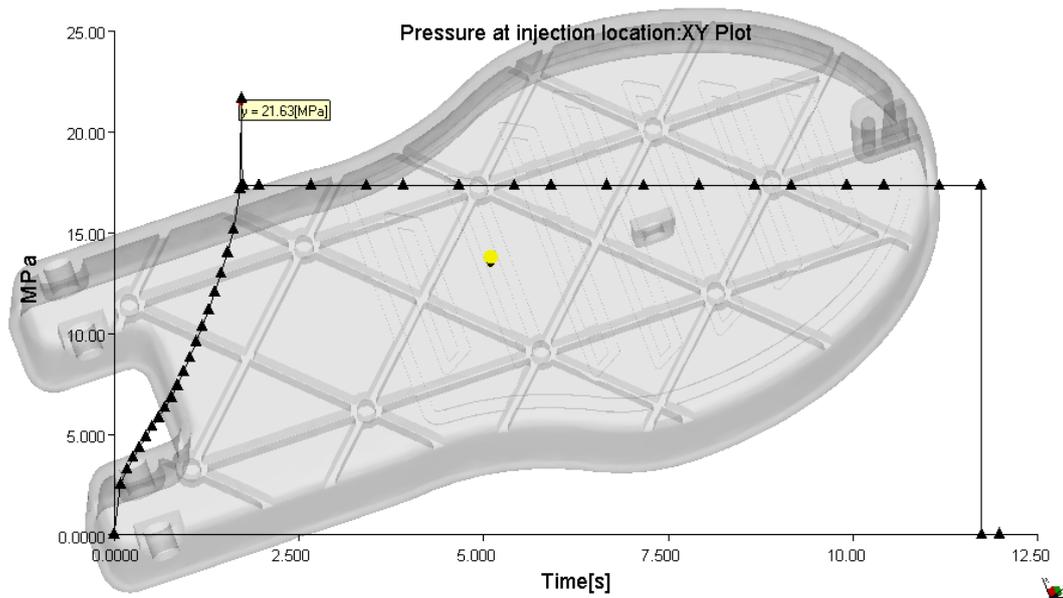


Figura 67- Pressão de injeção no pedal 2.

1.2.2.6. Força de fecho

Após a observação do gráfico da figura 68, é possível reter que a maior força de fecho, necessária durante o enchimento das duas cavidades, e por sua vez quando a pressão de injeção é máxima, é de aproximadamente 31 toneladas. Com esta informação, em conjunto com a pressão de injeção é possível seleccionar a maquina ideal para o processamento do pedal 2.

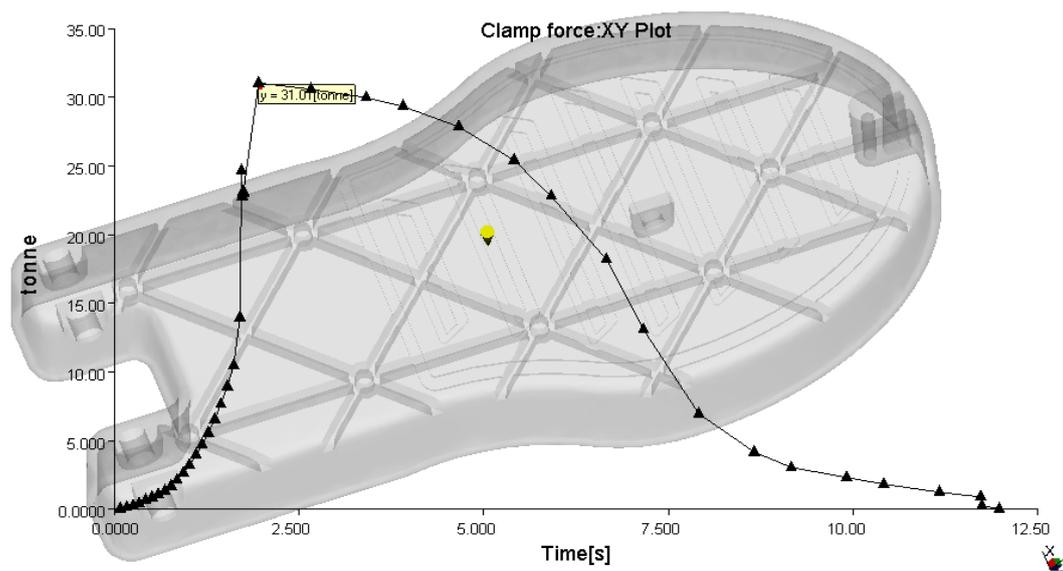


Figura 68- Força de fecho necessária para o pedal 2.



1.2.2.7. Chupados

O aparecimento de chupados no pedal 2 pode ser visualizado na figura 69. É possível verificar que o aparecimento destes se dá maioritariamente nas zonas onde existe maior acumulação de material, como por exemplo na parte dos furos, com valores máximos que rondam os 0,37 mm, e nas zonas das nervuras com valores entre 0,09 mm. No entanto estas distorções são insignificantes não provocam significativamente a estética do produto, não sendo necessária nenhuma alteração no projecto da peça.

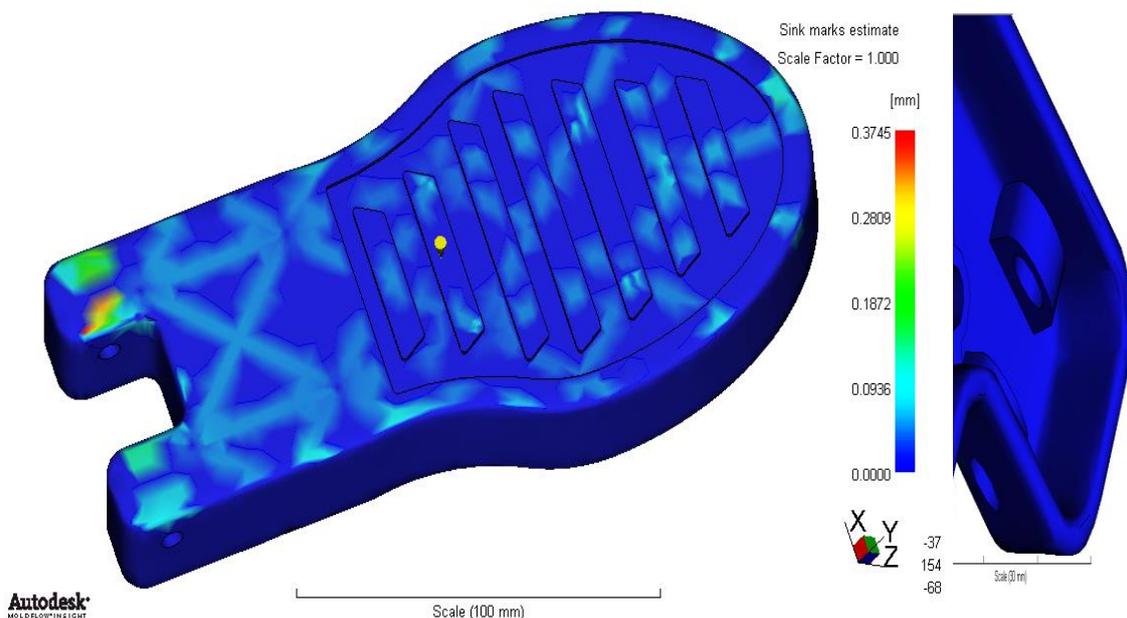


Figura 69 – Previsão da localização dos chupados no pedal 2.

1.2.2.8. Empeno

Neste caso, como também se utiliza materiais reforçados com fibras de vidro, sabe-se que o um dos critérios que pode contribuir mais para o empeno da peça é a orientação das fibras do material. No entanto, é importante também perceber que outros critérios podem levar ao empeno, nomeadamente o efeito da contracção, e dos cantos da peça. Analisemos então, em primeiro lugar, a deflexão do componente devido á contracção do material segundo o eixo em que este poderá ser mais significativo, devido à direcção de aplicação das forças (eixo dos zz) visível na figura 70. É possível perceber que este empeno é linear, havendo uma redução idêntica nas dimensões do material tanto de um lado como do outro, em sentidos opostos, resultando então numa contracção insignificante do componente.

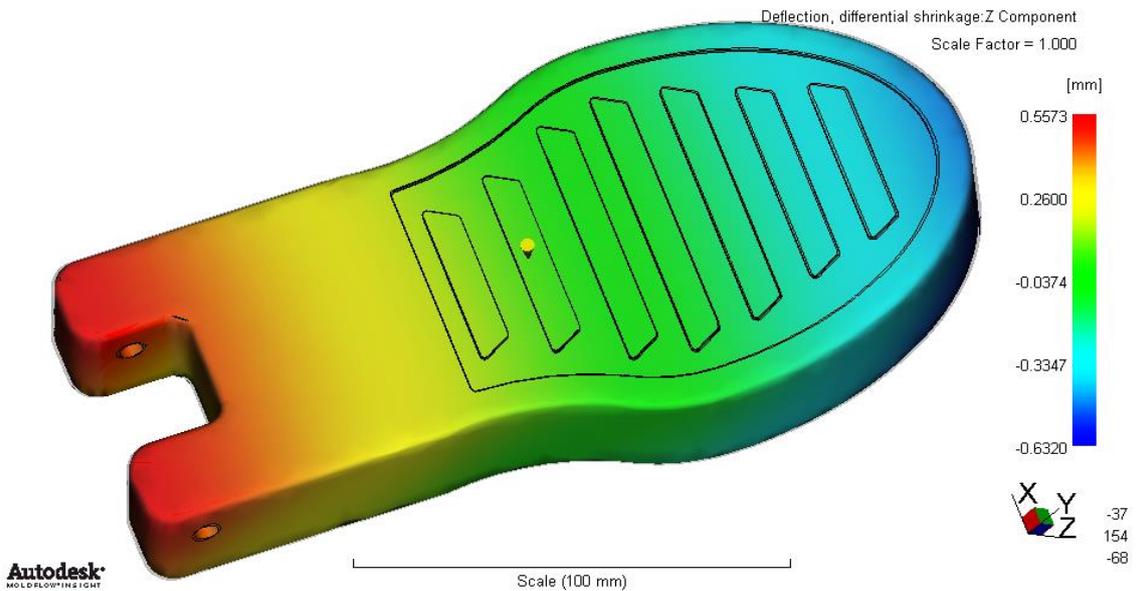


Figura 70- Deflexão causada pela contração no eixo dos zz.

As deflexões causadas pela contração do material segundo o eixo dos xx e dos yy esta apresentada na figura 71 a) e b), respectivamente. Neste caso acontece o mesmo que segundo z, uma vez que não existem geometrias na peça que possam causar essa diferença. O componente comporta-se então que se sofre-se uma ligeira contração, uma vez que os valores destas deflexoes são reduzidos

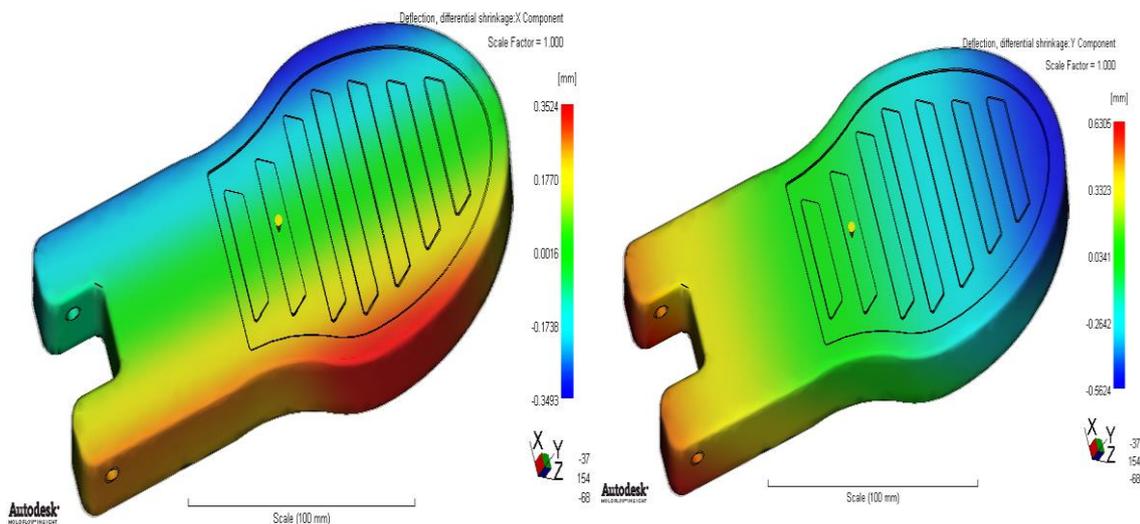


Figura 71- Deflexão causada pela contração **a)** no eixo dos xx. **b)** no eixo dos yy

a)

b)



De seguida foi analisada a deflexão da peça devido à orientação do material, sendo este, supostamente, o critério que mais influência o empeno em materiais reforçados. Pela análise dessa deformação segundo o eixo dos zz exibida na figura 72, é possível ver que as deformações se dão na superfície e na base da peça, em sentidos opostos, ou seja, na direcção transversal ao fluxo. No entanto esta sofre alterações dimensionais de 0,2 e 0,3 mm, não sendo significativa para o bom desempenho e para a estética futura do componente.

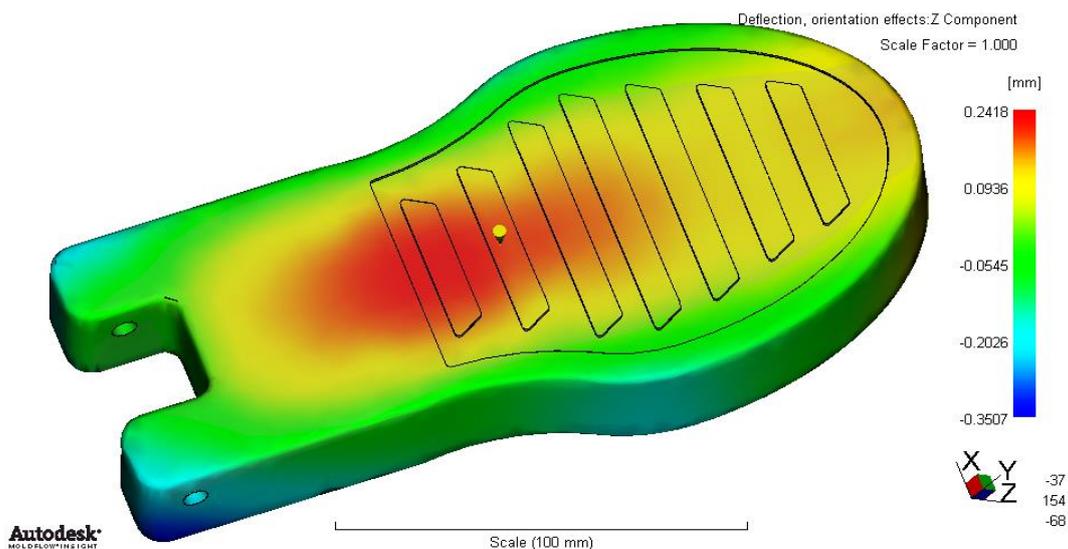


Figura 72- Deflexão causada pela orientação do material no eixo dos zz.

Quanto às deflexões causadas no eixo dos xx representada na figura 69 a) pode-se verificar que a peça sofre empeno em zonas mais frágeis, onde não existe mais apoios, como é o caso da base do componente. Segundo y (figura 73 b)) também se dá no sentido transversal ao fluxo, sendo que é mais significativa nas zonas onde a geometria da peça possa estar mais frágil.

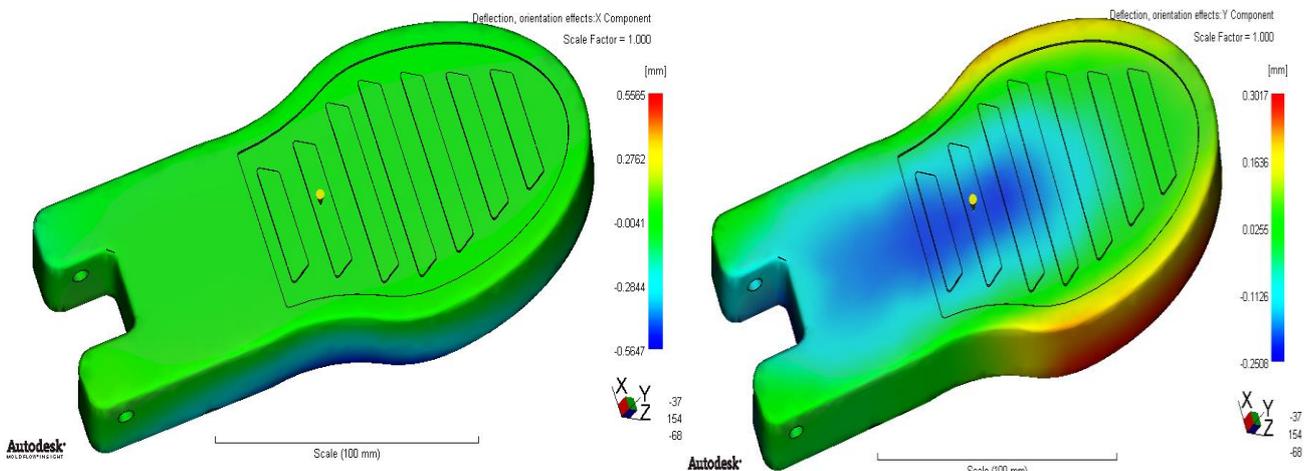


Figura 73- Deflexão causada pela orientação **a)** no eixo dos xx. **b)** no eixo dos yy



a)

b)

Por último é abordada a deflexão da peça causada pelos efeitos de canto. Da análise dessa deformação segundo o eixo dos zz exibida na figura 74, pode-se tirar que o empeno é mais provável onde ocorre uma transição das paredes mais brusca (exemplo: parte a azul). A parte inferior da peça (zona de apoio) também tem uma maior probabilidade de ocorrência de empeno devido aos raios de curvatura mais pequenos. Contudo os valores são minimamente aceitáveis.

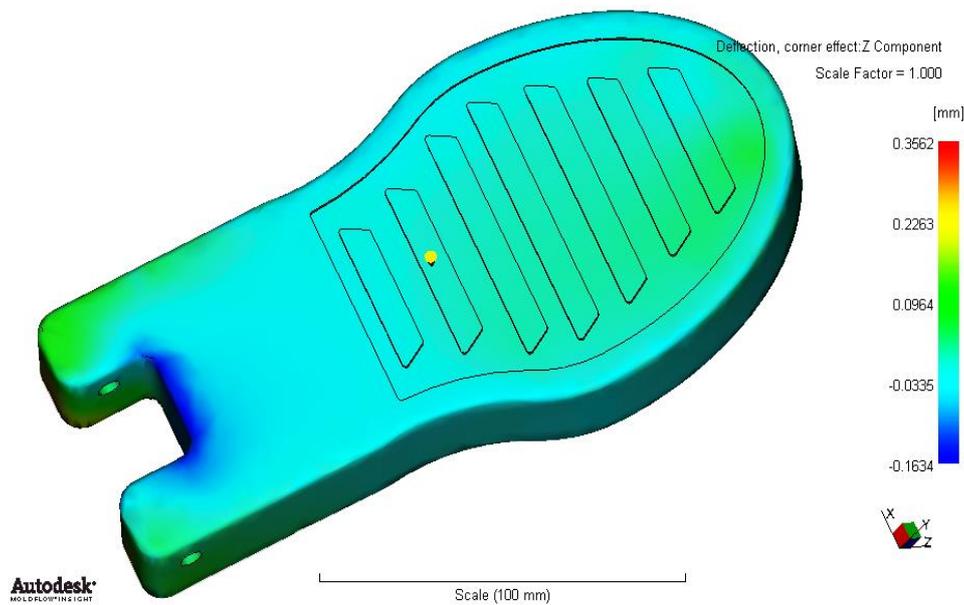


Figura 74- Deflexão causada pelo efeito de canto no eixo dos zz.

Quanto as deflexões segundo o eixo dos xx e dos yy, apresentados na figura 75 a) e b) respectivamente, nada de mais se tem a acrescentar. No eixo dos xx estas dão essencialmente na zona de apoio da peça devido os valores baixos de raios de curvatura e segundo yy estas deformações dão-se na parte onde existe transições de parede, que geram cantos, e por sua vez tornam essa zona mais sujeita a empenos. No entanto são utilizados raios de curvatura e os valores de empeno não são tão significativos ao ponto de exigir um aumento desses valores.

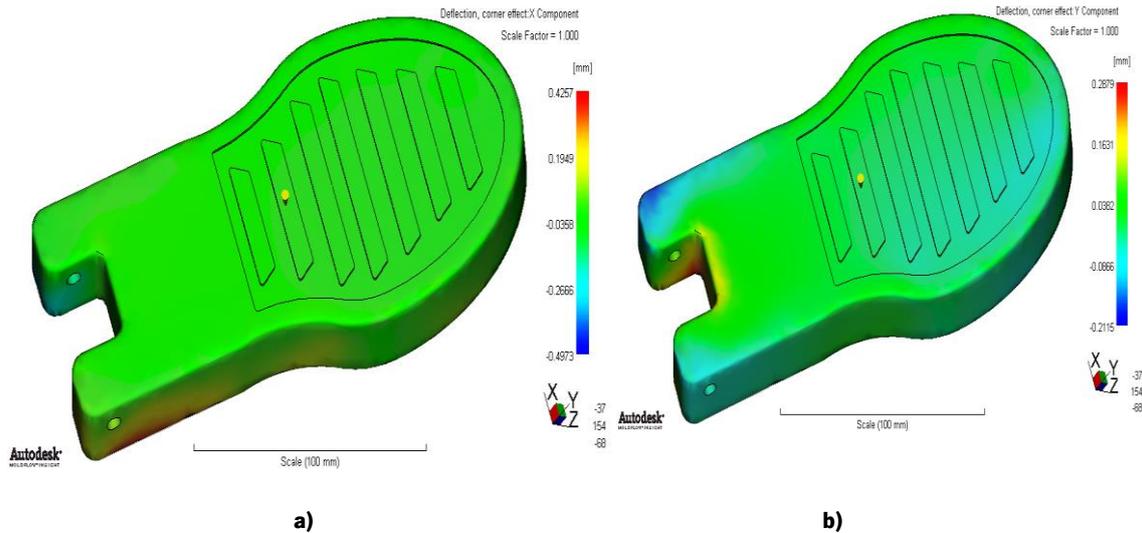


Figura 75 - Deflexão causada pelos efeitos de canto **a)** no eixo dos xx. **b)** no eixo dos yy

1.2.3. Base

As simulações no *Moldflow*, tendo em conta o material utilizado, foram realizadas a uma temperatura de injeção de 295°C e uma temperatura do molde de 100°C. Os resultados obtidos para a base serão mostrados e discutidos a seguir.

1.2.3.1. Localização do ponto de injeção

Neste caso como a base possui dimensões elevadas é necessário que esta seja injectadas em três diferentes pontos, possuindo assim então três pontos de injeção.

A primeira simulação à base resultou na obtenção do gráfico de resistência ao fluxo presente na figura 76 a), que permite perceber as zonas de menor resistência ao fluxo onde podem ser localizados idealmente os pontos de injeção. Tal como nos componentes anteriores este deve ser localizado preferencialmente na parte superficial da peça, devido essencialmente à marca provocada pelos elementos utilizados na extracção da peça, que deve ser localizada numa zona menos visível. A localização do ponto de injeção pode ser visualizada na figura 76 b) pelo ponto amarelo. Esta localização teve por base as zonas de menor resistência ao fluxo, contudo a posição prevista foi reposicionada de forma a obter uma disposição que permita a inserção eficiente do carburador, sendo que um dos pontos se localiza um pouco fora da zona com menor resistência



ao fluxo. Por essa razão é necessário também perceber se essa localização afectará o desempenho do componente ao ponto de ser necessário a alteração de algum dos pontos de injeção.

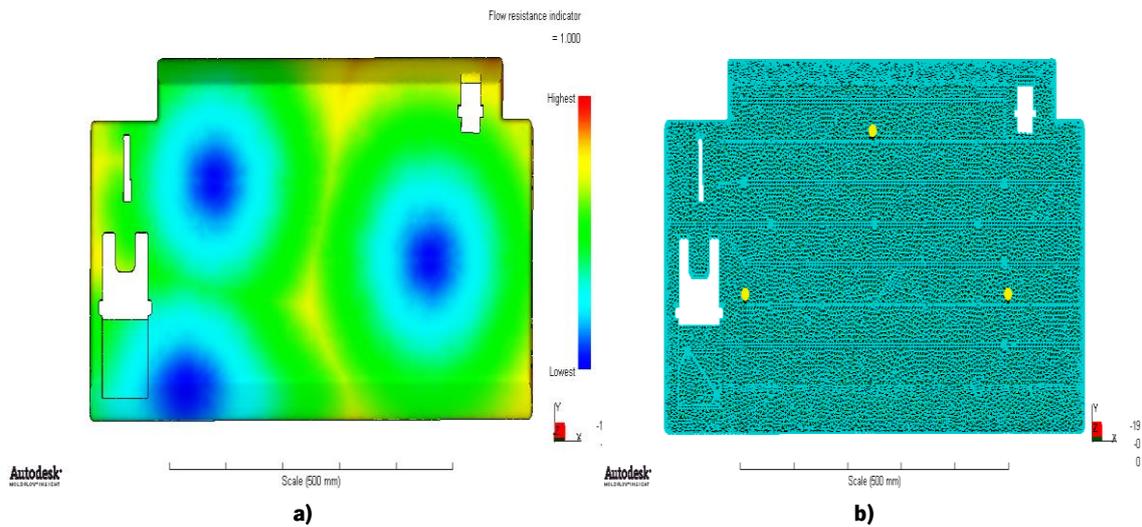


Figura 76- Simulação da previsão do ponto de injeção para o pedal 1: **a)-** Gráfico da resistência ao fluxo **b)-** Localização ideal para o ponto de injeção.

No entanto como já foi referido, esta previsão não considera os pontos de retenção de ar, nem as linhas de soldadura que podem influenciar a localização do ponto de injeção, e por isso é feita uma análise a esses critérios. É possível então verificar pela figura 77, que a formação das bolhas de ar verifica-se essencialmente nas zonas mais finas do componente (nervuras), devido à difícil expulsão desses gases nesse tipo de zonas. Embora por vezes estas possam prejudicar o desempenho da peça, neste caso, uma vez não se encontram sujeitas a elevadas solicitações mecânicas pois a sua função é somente aumentar a inercia do componente, não é necessário qualquer tipo de alteração ao projecto.

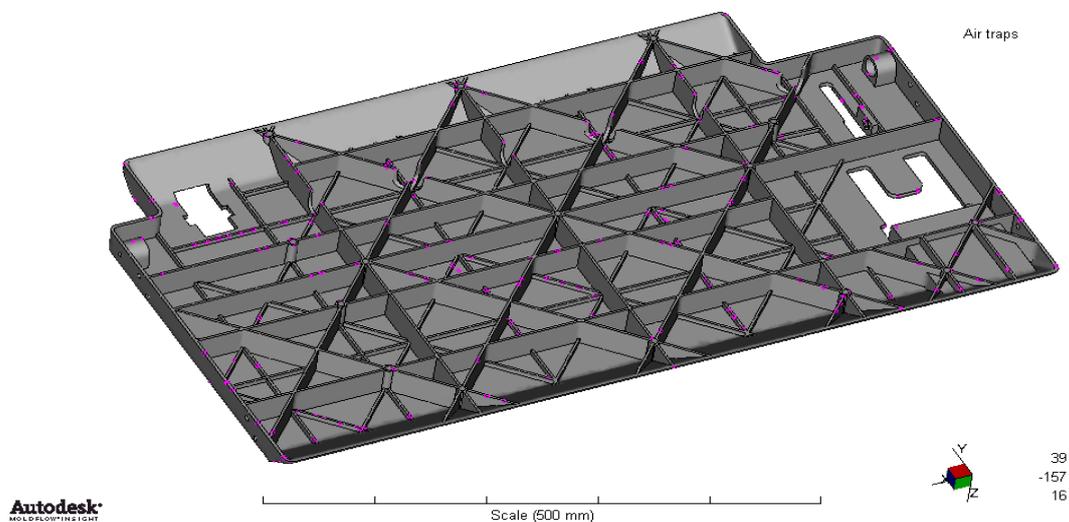


Figura 77 - Pontos de retenção de ar na base.



A existência destas bolhas de ar podem também levar à formação de linhas de soldadura que podem comprometer o desempenho da peça, e que se formam devido à junção de duas frentes de fluxo. A figura 78 mostra as linhas de soldadura formadas na base. Em primeiro lugar, e tendo em conta que as linhas de soldadura são inevitáveis nessas zonas, é possível observar que uma grande parte destas se localiza em zonas de furos. Por outro lado, também se nota a formação destas linhas nas extremidades da peça, devido à união de duas frentes do fluxo. É preciso então verificar se estas linhas são geradas a temperaturas do fundido mais de 5°C abaixo da sua temperatura de fusão ideal. No entanto estas linhas também não são localizadas em zonas de risco, e por essa razão é indispensável qualquer alteração, por agora, ficando o ponto de injeção no mesmo sítio que a previsão inicial.

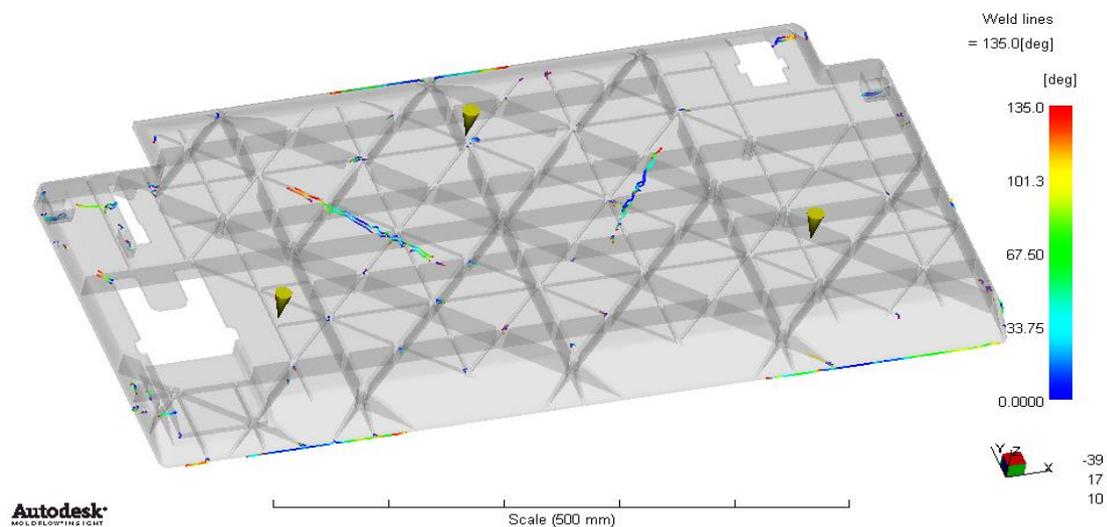


Figura 78 - Linhas de soldadura presentes na base.

1.2.3.2. Tempo de enchimento

Pela análise das figuras 79, verifica-se que o tempo de enchimento para a base é de sensivelmente 4,7 segundos, devido às suas dimensões elevadas. As zonas a vermelho são as últimas secções da peça a encher, sendo os azuis as mais próximas do ponto de injeção.

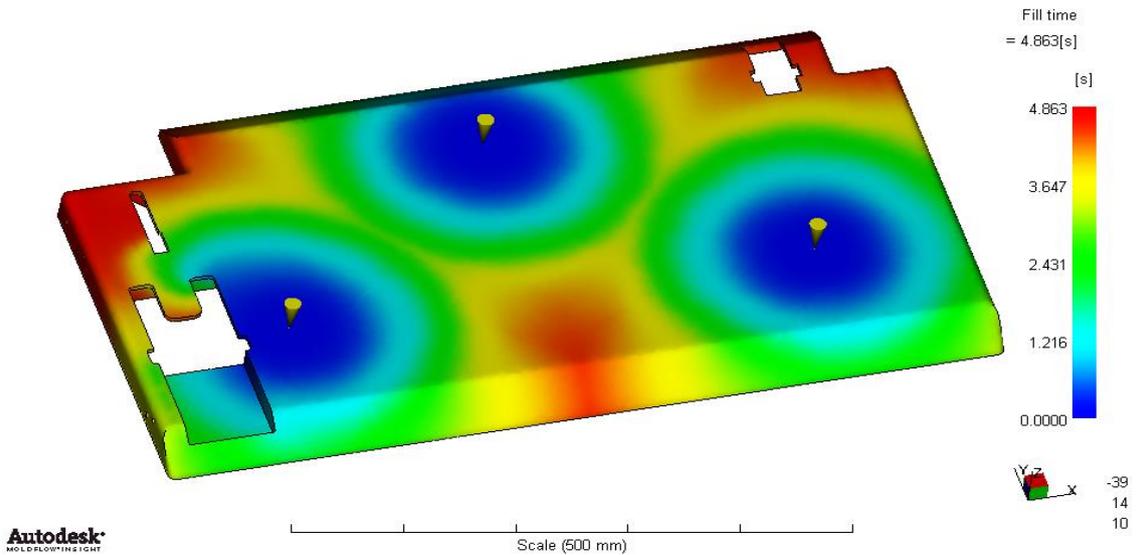
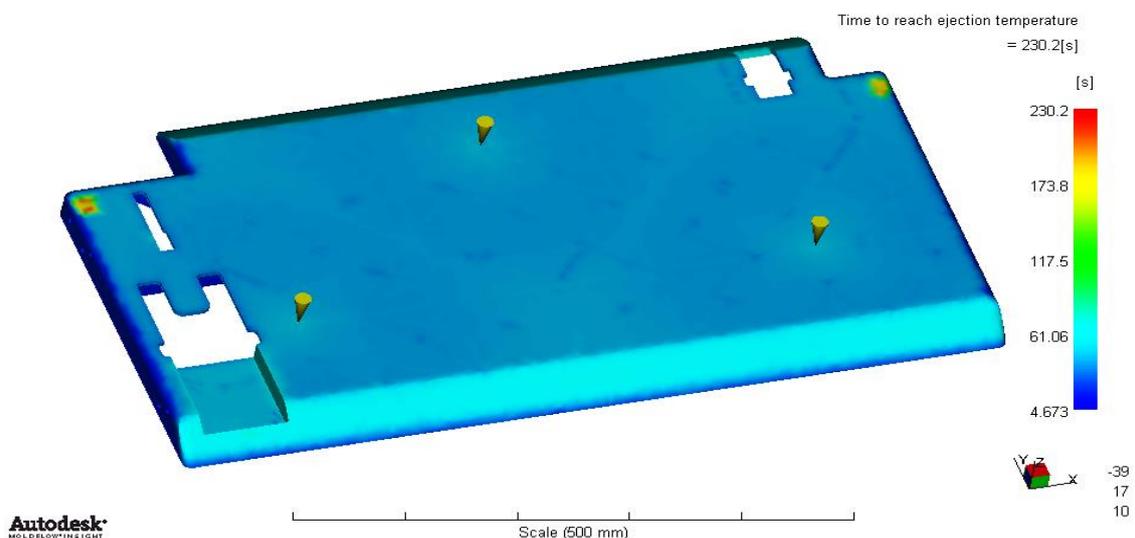


Figura 79 – Tempo de enchimento na moldagem da base.

1.2.3.3. Tempo de ejeção

O tempo necessário para atingir a temperatura de ejeção é um tempo integrante do tempo de ciclo da peça no processo de injeção. O tempo de ejeção para a base é então de 230,2 segundos (figura 80), sendo que as partes internas dos furos e as zonas onde existe maior acumulação de material são as últimas a arrefecer e por isso são responsáveis pelo tempo de ejeção e conseqüentemente tempo de ciclo maior. Quando ao tempo de ciclo, foi estipulado um valor de aproximadamente 350 s, uma vez que se trata de uma peça bastante maior em relação às outras.





1.2.3.4. Degradação do material

Pela análise do gráfico presente na figura 81 é possível visualizar a temperatura na frente do fundido aumenta que permite perceber se o componente sobre degradação térmica durante o processo de injeção. Neste caso, verifica-se que com o aumento do tempo de injeção, a temperatura do fundido aumenta, até cerca do meio da peça, como assinalado na figura, sendo que posteriormente vai diminuindo até as últimas zonas da peça a encher. O fundido é injectado a uma temperatura de 295°C , e o aumento da temperatura para $295,1^{\circ}\text{C}$, deve-se às dimensões reduzidas da zona de ataque, por onde o material é injectado, que conduz à formação de atrito molecular e conseqüentemente ao aumento da dissipação viscosa. Embora a temperatura no início do enchimento seja mais elevada que a temperatura do fundido imposto, esta encontra-se na gama de temperaturas admissíveis pelo fornecedor do material ($285\text{-}305^{\circ}\text{C}$), e por essa razão é possível deduzir que o componente não sofrerá degradação térmica. Neste caso a temperatura mínima atingida pelo fundido em certas partes do componente encontra-se quase no limite aceitável. No entanto este ainda se encontra dentro deste ($>290^{\circ}\text{C}$), continuando as linhas de soldadura a ser um aspecto irrelevante para este projecto.

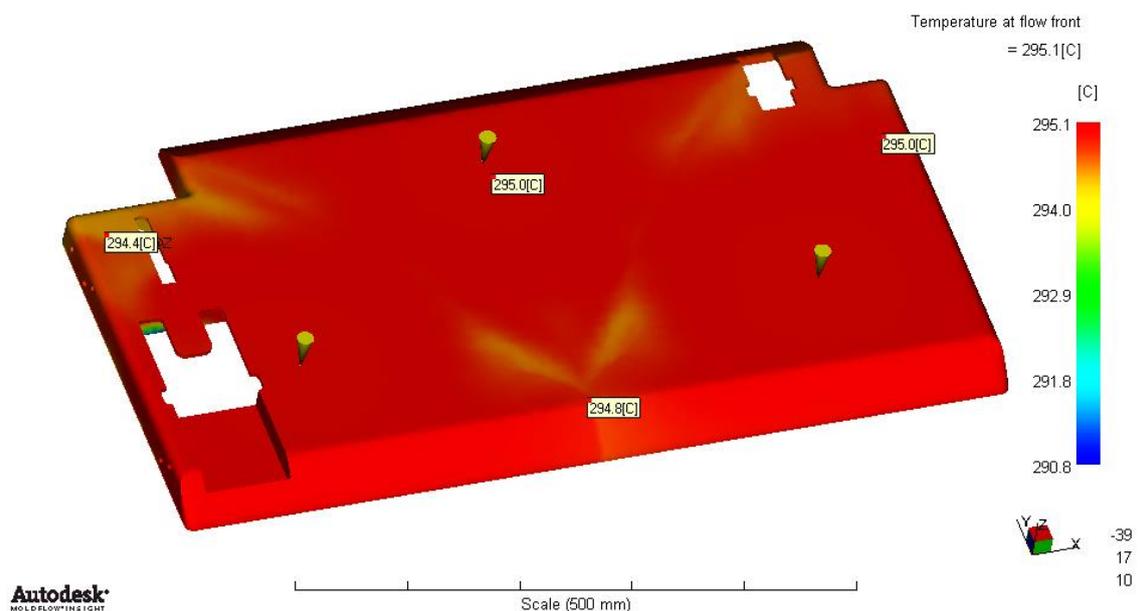


Figura 81- Temperatura na frente do fundido na base.



Por outro lado, o material pode degradar devido às taxas de corte a que pode estar sujeito no ciclo de injeção. Na figura 82, é possível verificar que o componente é sujeito a taxas de corte reduzidas. No entanto, no local de ataque, devido as suas dimesnoes reduzidas, existem taxas de corte a rondar $2500s^{-1}$, causadas pela entrada de fluido.

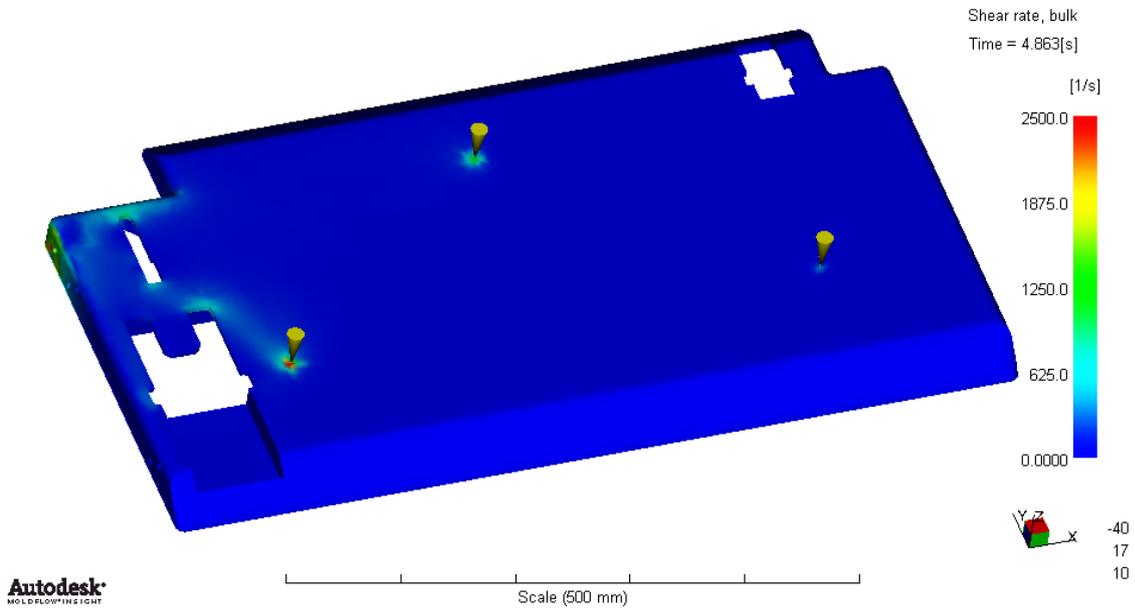


Figura 82- Taxas de cote presentes na base.

1.2.3.5. Pressão de injeção

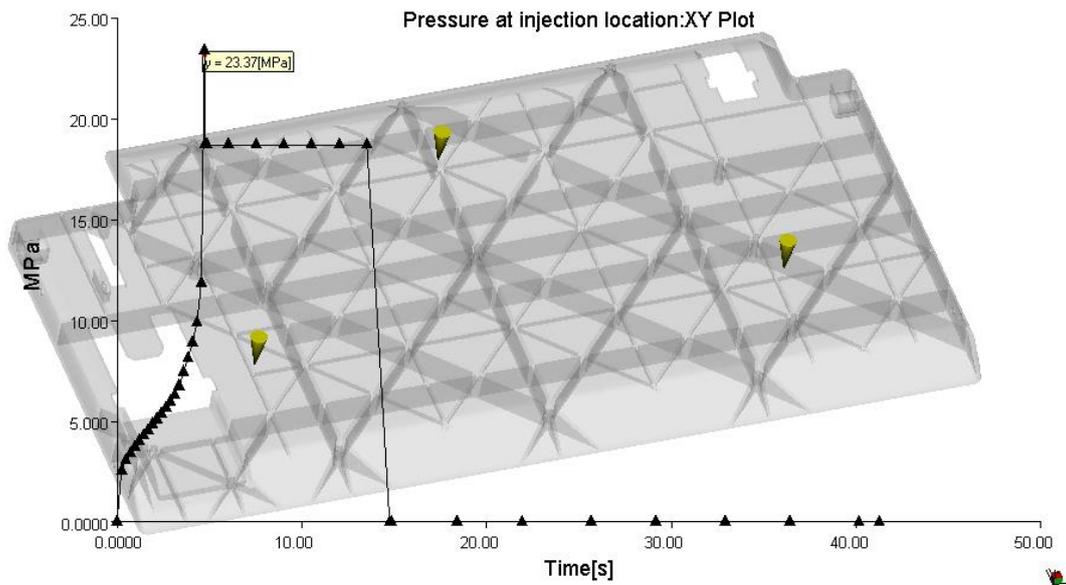


Figura 83- Pressão de injeção na base.



Pela análise da figura 83, verifica-se que a pressão aumenta ao longo do enchimento, sendo a pressão máxima cerca de 23,37 MPa. Após o enchimento dá-se então a fase de compactação, sendo que entre estas duas fases, dá-se a comutação do material, onde foi definido que 80% da pressão atingida no enchimento é usada na compactação durante 10 segundos do tempo de ciclo, sendo nesta fase a pressão é constante e aproximadamente de 19 MPa. Como é sabido, esta informação será necessária para a selecção da máquina de injeção.

1.2.3.6. Força de fecho

Para a selecção da maquina de injeção é também indispensável saber a força de fecho necessária para a injeção do componente. O gráfico da figura 84, mostra que a força de fecho é máxima, quando a pressão também é máxima, e é cerca de 584,4 toneladas. Este valor elevado deve-se as grandes dimensões da base.

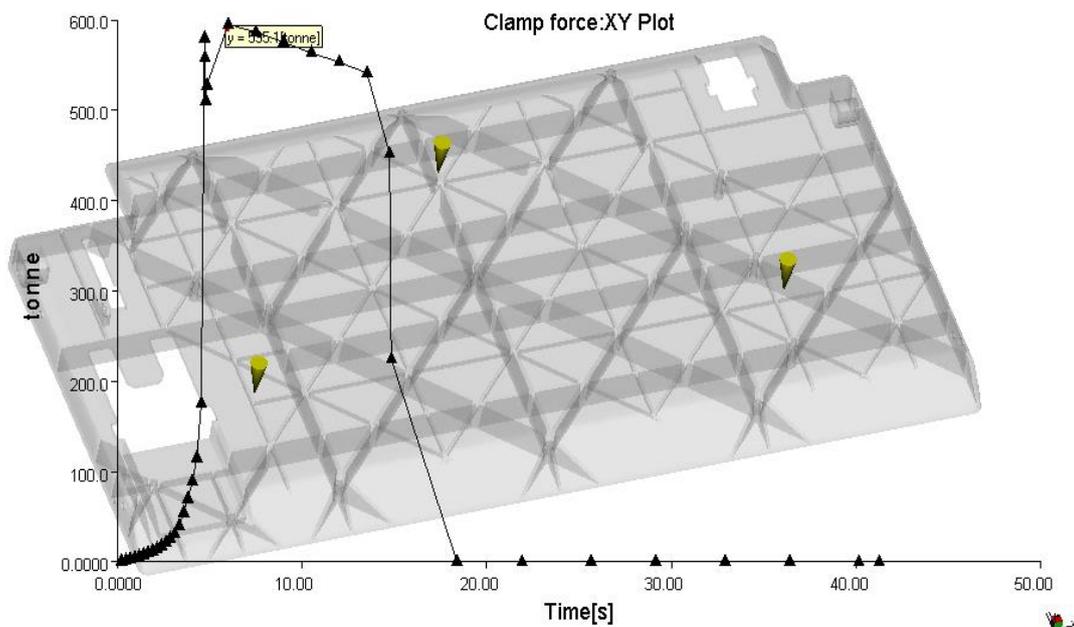


Figura 84 – Força de fecho para a base.



1.2.3.7. Chupados

Uma vez que o aparecimento de chupados pode prejudicar a estética da peça, é importante analisar até que ponto estes são relevantes. O gráfico da figura 85 mostra a previsão das zonas sujeitas ao aparecimento destas distorções, e é possível verificar que o aparecimento destes se dá maioritariamente nas zonas onde existe maior acumulação de material, nomeadamente na zona onde estão as nervuras, sendo que é mais significativo onde ocorre a intersecção destas (figura 85 b)). No entanto estas distorções não são assim tão insignificantes que exijam uma alteração na peça, pois os valores rondam os 0,3 mm e 0,5 mm, sendo que utilizando a opção resultante da simulação *“sink marks shaded”* não foram visualizados chupados que pudessem prejudicar a estética do material.

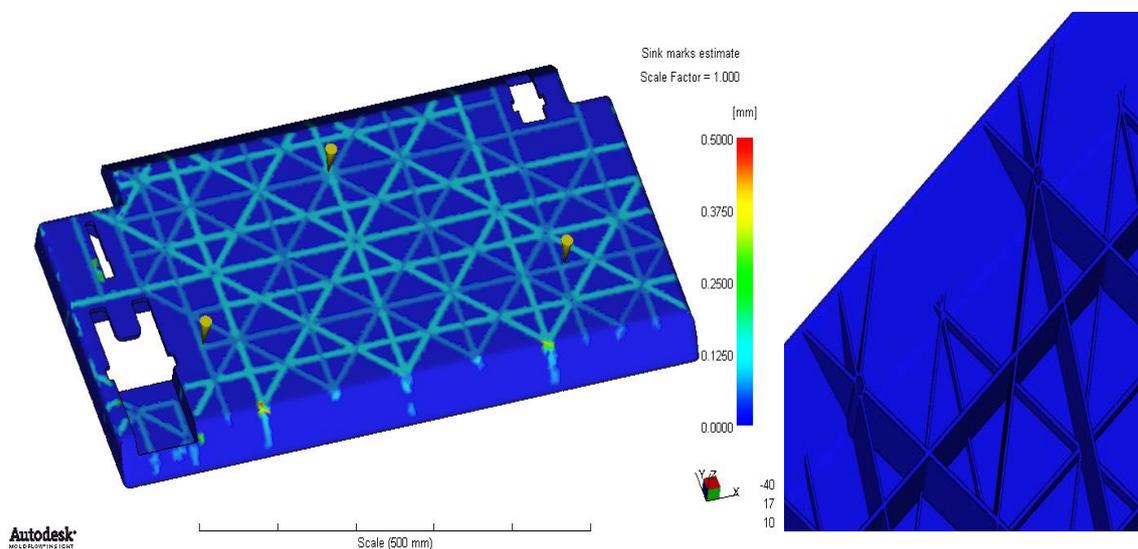


Figura 85 - Previsão da localização dos chupados no pedal 2.

1.2.3.8. Empeno

Neste ultimo componente foi feita também a análise à deflexão do material segundo x, y e z, no sentido de perceber se alguma dessas deformações haveria ser consideração e levar a uma alteração no projecto. Tendo inicio no efeito provocado pela contracção do material no eixo dos zz visível na figura 86. Neste eixo é possível notar uma alteração idêntica, mas em sentidos opostos, das dimensões tanto na superfície como na base da peça. Esta alteração resulta numa ligeira contracção do material, não sendo este um defeito considerável.

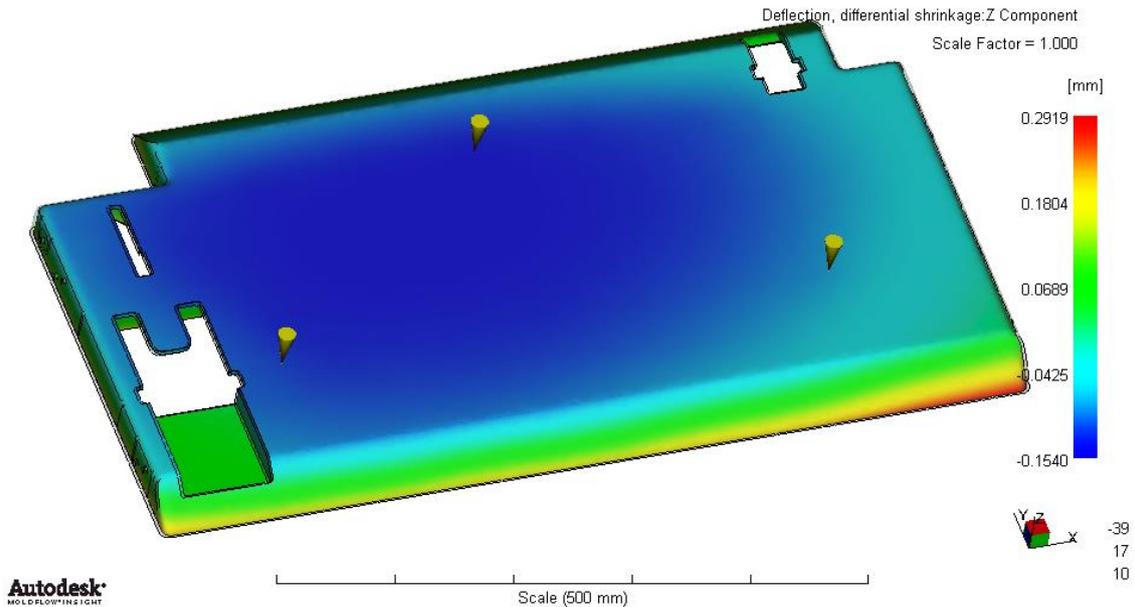


Figura 86 – Deflexão causada pela contração no eixo dos zz.

A contração segundo o eixo dos xx e dos yy, presentes na figura 87 a) e b), respectivamente, provoca uma alteração ao material idêntica à análise anterior, nestes dois eixos.

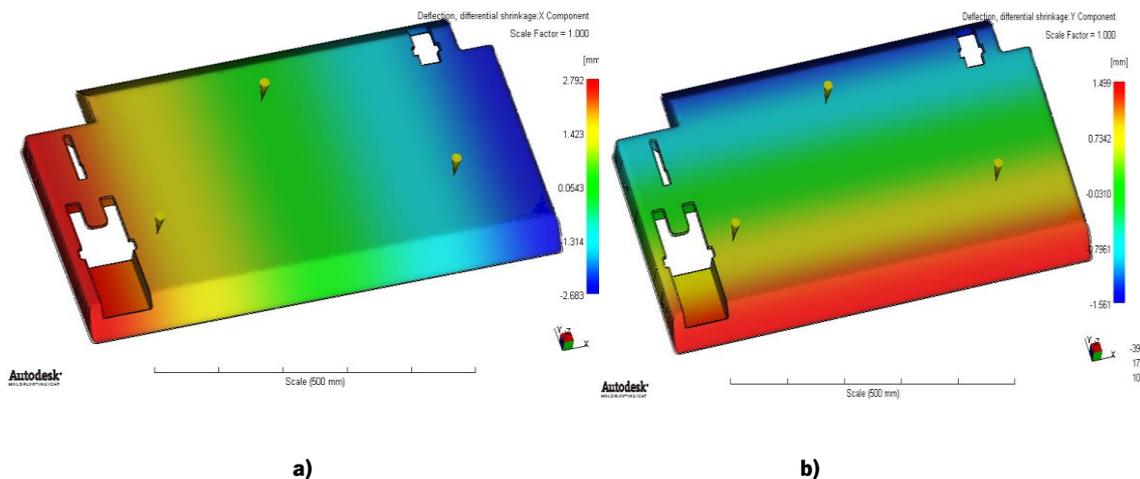


Figura 87 - Deflexão causada pelos efeitos de canto **a)** no eixo dos xx. **b)** no eixo dos yy

De seguida foi analisada a deflexão da peça devido à orientação do material. A análise dessa deformação segundo o eixo dos zz exibida na figura 88. É possível verificar que a deflexão se dá na direcção transversal ao fluxo, sendo esta mais significativa na extremidade da rampa da base (zona a vermelho) devido a mudança de direcção de fluxo e principalmente à sua geometria, não possuindo suporte nessa zona (nervuras por exemplo). Neste caso a as alterações dimensionais são um pouco superiores (5,7mm), mesmo esta peça ter dimensões também um



pouco maiores que as restantes. Para resolver este problema pode-se aumentar a quantidade de nervuras, nomeadamente nessa zona para reduzir este empeno. No centro da peça também podem ser inseridas mais nervuras no sentido de reduzir também a variação de 2,2 mm. Por outro lado, posteriormente, para reduzir este empeno pode-se conduzir um estudo de preenchimento do molde, (preenchendo o molde parcialmente, em vários estágios), reconstruindo a orientação das fibras.

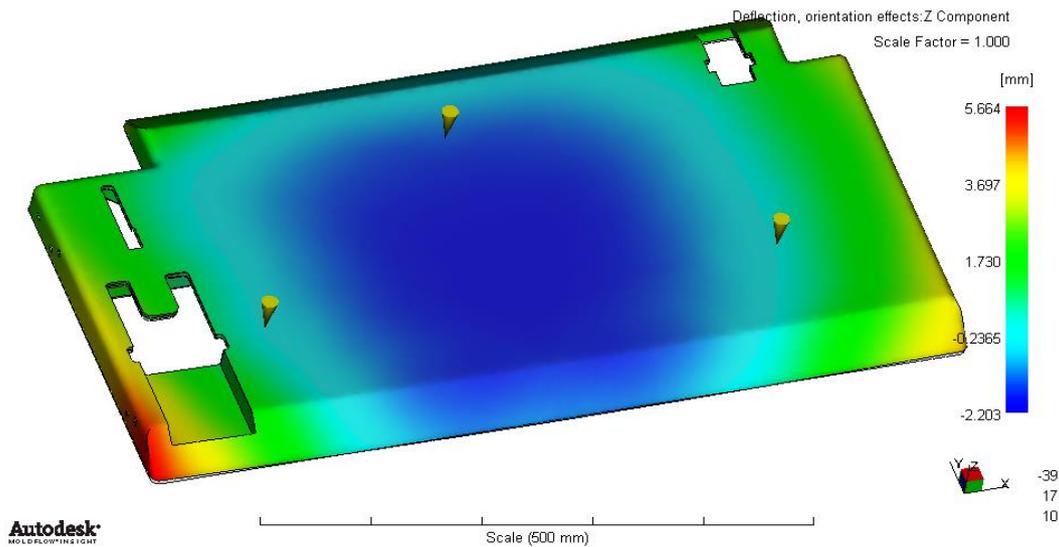


Figura 88 – Deflexão causada pela orientação do material no eixo dos zz.

As deflexões segundo os eixos x e y são exibidas na figura 89 a) e b), respectivamente. No primeiro gráfico é possível concluir que também existem deflexões da peça nas extremidades segundo x, nomeadamente na base da peça, apesar de menos significativas, pois essas são sempre zonas mais sensíveis e em que ocorre variação na direcção do fluxo. Quanto á direcção y passa-se o mesmo, sendo as alterações dimensionais, que ocorrem maioritariamente onde existe menos apoio, um pouco menos significativas.

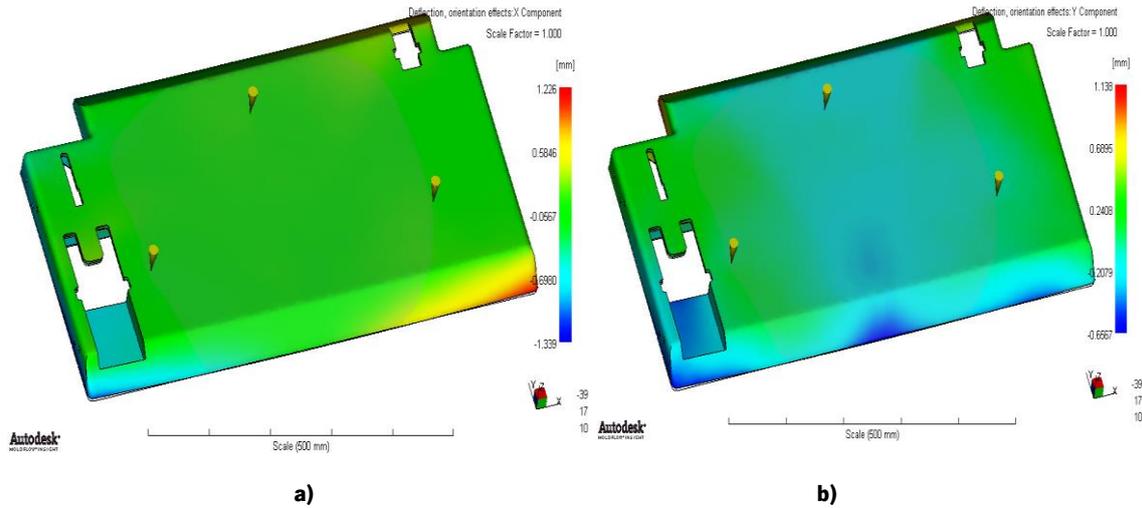


Figura 89- Deflexão causada pela orientação do material **a)** no eixo dos xx. **b)** no eixo dos yy

Por último é abordada a deflexão da peça causada pelos efeitos de canto. Da análise dessa deformação segundo o eixo dos zz exibida na figura 90. É notável que a deflexão ocorre onde existe a criação de cantos (transição de paredes). No entanto todos os cantos possuem raios de curvatura que fazem com que este efeito não seja significativo na alteração do desempenho do componente.

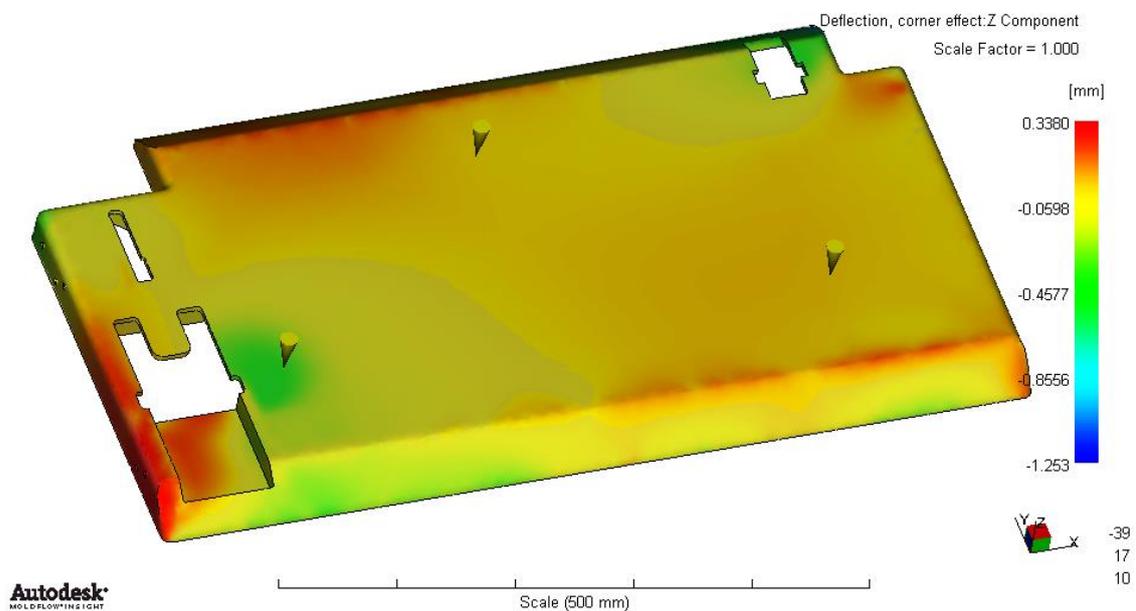


Figura 90 – Deflexão causada pelos efeito de canto no eixo dos zz.



Quanto as deflexões segundo x e y, exibidas na figura 91 a) e b), respectivamente, também é notório que estas são mais significativas na transição de paredes, nomeadamente na base da peça pois possui raios de curvatura inferiores e por sua vez mudanças mais bruscas, podendo originar empeno.

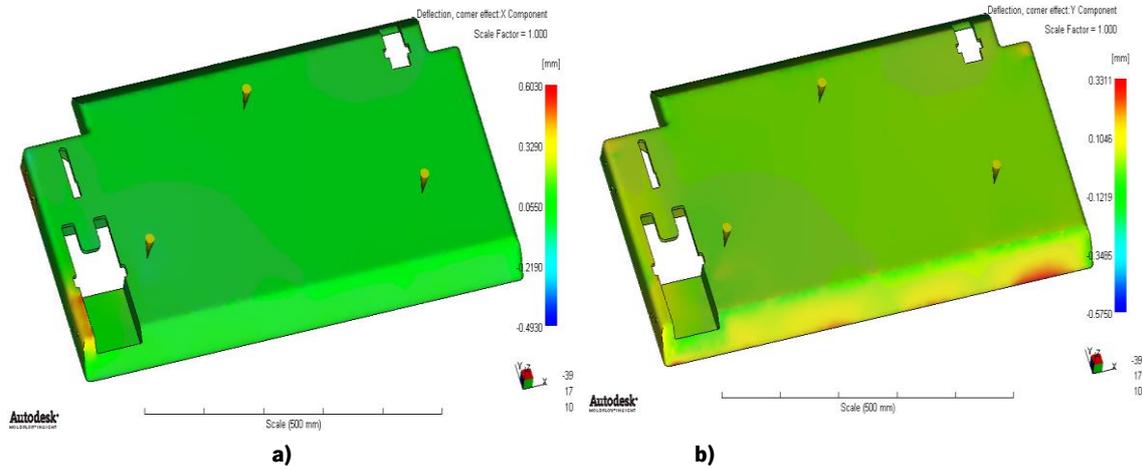


Figura 91- Deflexão causada pela orientação do material **a)** no eixo dos xx. **b)** no eixo dos yy

Capitulo VI- Tecnologias de transformação e Análise económica



Nesta fase do projecto, após já identificados e modelados todos os componentes que fazem parte do sistema de abertura de portas accionado pelo pé, é possível proceder à definição das tecnologias necessárias para o processamento de cada um dos componentes, que contribuirão para o custo final da peça e por sua vez para o custo final do produto. No entanto como não é o foco principal deste projecto nem da empresa onde este está a ser desenvolvido, uma vez que não se trata de uma empresa de produção, será pedido um orçamento a uma entidade externa que indicará as tecnologias necessárias e definirá os respectivos custos associados. Será feita, no entanto, uma análise conceptual ao molde de cada um dos componentes e de seguida apresentada a análise económica tendo em conta os valores fornecidos pelos fornecedores.

1. Definição conceptual do molde

1.1. Pedal 1/Pedal 2

Antes de proceder ao dimensionamento definição do molde, é preciso estipular o número de cavidades que se pretender introduzir neste, que irá influenciar as suas dimensões. É necessário ter em atenção que este terá que ser o mais quadrado possível de forma a aumentar a resistência à fadiga, por isso o numero de cavidades vai depender das dimensões e da geometria da peça. Neste caso para além de tornar o molde o mais quadrado possível, irão ser introduzidas quatro cavidades, duas referentes ao pedal 1 e outras duas do pedal 2, de forma a economizar, uma vez que ambos os componentes são constituídos pelo mesmo grau de material e são processados pela mesma técnica de processamento. A placa das cavidades e das buchas terá então a disposição presente na figura 89. Quanto ao tipo de molde, este será de canais quentes, pois este género de moldes permite a alimentação central em moldes com mais de uma impressão, como é o caso, para além de reduzir o tempo de ciclo da peça. Apesar de ser um molde um pouco mais dispendioso, evita o desperdício de material, não possuindo a extracção do sistema de alimentação e aumento a capacidade de injeção, sendo possível, eventualmente, utilizar máquinas com menor capacidade.

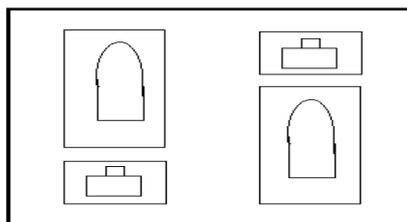


Figura 92- Distribuição dos 2 componentes na placa das cavidades/buchas.

As dimensões das placas são então determinadas medindo a área que as cavidades ocupam e adicionando pelo menos 100 mm a cada lado, de modo a possibilitar a colocação de casquilhos, guias e outros acessórios necessários para a injeção. No que diz respeito à espessura, esta é determinada adicionando 40 mm nas chapas das cavidades e das buchas de maneira a ser possível a passagem de canais de arrefecimento e a sua extracção. Após feitas todas as contas a dimensão do molde teria de ser igual ou superior a 546x696 mm. O molde utilizado e suas respectivas dimensões, representadas da Tabela 15, foi escolhido recorrendo à HASCO®.

Tabela 15- Dimensões das respectivas placas e respectiva ilustração do molde para o pedal 1 e 2.

K10/546x696x56	
K30/546x696x56	
K20/546x696x76	
K20/546x696x46	
K30/546x696x56	
K40/546x696x96	
K60/k70/546x696	
K11/ 546x696x56	

1.2. Base

Uma vez que a base é um componente com dimensões muito elevadas é coerente a injeção de somente uma cavidade (1 impressão), pois se fosse mais que uma cavidade era necessária um molde muito grande, não disponíveis com facilidade nesta industria. Quanto ao tipo de molde, este poderia ser de canais frios, uma vez que estes permitem a alimentação central em moldes apenas com uma impressão, como é o caso, sendo o seu projecto menos dispendioso. No entanto, este tipo de moldes possui um grande desperdício de material, pois exige a extracção



do sistema de alimentação. Tendo em conta que o desperdício do material é 10% o peso da peça, e sendo a massa bastante elevada (Kg), a quantidade de capital desperdiçado em material não justifica a opção por este tipo de molde. Optou-se então pelo molde de canais quentes, que neste caso acaba por ser mais económico e permite a redução dos tempos de ciclo.

As dimensões das placas são então determinadas medindo a área que as cavidades ocupam e adicionando 100 mm a cada lado, sendo a espessura determinada adicionando 40 mm nas chapas das cavidades e das buchas. Após feitas todas as contas a dimensão do molde teria de ser igual ou superior a 720x976 mm. O molde utilizado e suas respectivas dimensões, representadas da Tabela 16, foi escolhido recorrendo à HASCO®.

Tabela 16- Dimensões das respectivas placas e respectiva ilustração do molde para a Base.

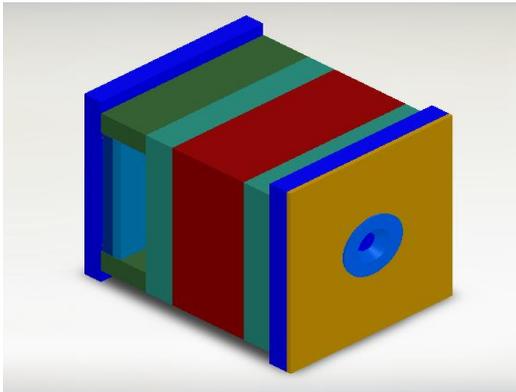
K11/746x996x76	
K30/746x996x76	
K20/746x996x76	
K20/746x996x46	
K30/746x996x76	
K40/746x996x96	
K60/70/746x996/	
K11/746x996x96	

1.3. Cilindros

Apesar de não ter sido feita uma análise à simulação de enchimento destes componentes, está foi realizada e foram retirados os dados necessários para a selecção dos equipamentos. Este

Uma vez que estes também possuem o mesmo material e geometrias semelhantes foi pensado a utilização de um único molde para a obtenção destes dois componentes de forma a poder economizar. Este terá então 2 impressões (uma de cada um dos componentes). Quanto ao tipo de molde será de canais quentes, uma vez que permite a redução de tempos de ciclo. As dimensões das placas são então determinadas medindo a área que as cavidades ocupam e a espessura. Após feitas todas as contas a dimensão do molde teria de ser igual ou superior a 403x443 mm. O molde utilizado e suas respectivas dimensões, representadas da Tabela 17, foi escolhido recorrendo à HASCO®.

**Tabela 17** - Dimensões das respectivas placas, custo e respectiva ilustração do molde para os cilindros.

K11/446x446x46	
K30/446x446x56	
K20/446x446x76	
K20/446x446x76	
K30/446x446x56	
K40/446x446x96	
K60/70/446x446/	
K11/446x446x46	

2. Análise económica

Após o desenvolvimento de todos os componentes em material plástico do sistema de abertura de portas accionado pelo pé e seleccionadas todas as tecnologias necessárias para as transformações destes componentes, foi feita uma avaliação económica realizada com o objectivo de verificar se o custo de produção do sistema de abertura de portas em PA 66 30% GF poderá ser um produto mais competitivo do que os já existentes no mercado que justifique a sua substituição em prol de um maior nível de higienização.

Para determinar o custo de produção, foi necessário considerar os custos dos componentes adquiridos no mercado bem como todos os custos associados à produção dos componentes projectados. Para o cálculo dos custos dos componentes projectados são considerados os seguintes parâmetros:

- Custo da matéria-prima;
- Custos do molde;
- Custos inerentes ao processo de transformação;
- Custos de trabalho.

Para a determinação dos custos dos componentes adquiridos é feita uma investigação ao mercado de forma a encontrar os elementos desejados a preços satisfatórios. Por outro lado, para a determinação dos custos dos componentes projectados, tal como faz parte do procedimento normal da empresa, foi pedido a uma entidade especialista um orçamento de maneira a tornar o



custo do produto final o mais realista possível. Todos os custos serão então apresentados de seguida.

2.1. Custos dos componentes adquiridos externamente

Para a produção do produto, para além dos componentes projectados neste trabalho já referidos anteriormente, é necessário comprar alguns componentes. Na tabela 24 encontram-se os custos dos acessórios na produção de uma unidade. É de salientar que os preços de cada um dos componentes são valores aproximados de forma a obter um custo final de produto mais objectivo, não querendo dizer também que qualquer um dos componentes seleccionados durante este projecto não possa vir a ser futuramente substituídos.

Tabela 18 – Preço de cada um dos componentes adquiridos externamente.

Componentes Externos	Quantidade	Preço/unidade (€)
<u>Parafuso de união</u> (ISO 4162_M8x80x22)	1	0,15
<u>Placa de união</u> LEROY MERLIN	1	1,20
<u>Tubo metálico comprido</u> Diâmetro: 10 mm	1	15,00
<u>“Articulações”</u> Diâmetro: 10 mm	2	2,00
<u>Chumaceira</u> <i>Chumaceiras igubal®</i>	1	7,00
<u>Mola de torção</u>	1	3,00
<u>Parafusos</u> (ISO 4162_M8x80x22)	4	0,10
<u>Tubo metálico</u>	1	7,00



<u>Trinco</u>	1	4,00
<u>Placa de Junção</u> IKEA: Placa inoxidável 100 mm	1	0,60
<u>Esquadros</u> IKEA: Esquadro largo 30X30X30MM K2	4	0,70
<u>Parafusos: Socket button head screw</u>	20	0,10
Total		47,15 €

2.2. Custos dos componentes projectados

Analisando os diversos factores, tais como, custo da matéria prima, mão-obra, tecnologias de transformação (maquina de injeção), custo hora-maquina e custos dos moldes, na tabela 19 são apresentados os valores resultantes do orçamento para cada um dos componentes. Todos os cálculos relativos ao orçamento podem ser consultados no anexo 12.

Tabela 19- Preço de produção por componente.

	Pedal 1	Pedal 2	Base	Cilindro 1	Cilindro 2
Preço por componente (€)	0,49	1,32	31,79	0,32	0,45

No entanto é requerido uma margem de lucro de 30% por isso os custos de venda de cada um dos componentes são apresentados na tabela 20.

Tabela 20- Preço de produção por componente.

	Pedal 1	Pedal 2	Base	Cilindro 1	Cilindro 2
Preço de venda dos componentes (€)	0,70	1,80	45,41	0,46	0,64



2.3. Custo final do produto

Tendo em conta os custos na compra de componentes e os custos dos componentes em plástico projectados calculados anteriormente, desprezando os custos de montagem uma vez que este terá que ir desmontado, o custo final do produto será de cerca de aproximadamente 96€, podendo oscilar entre esses valores.

Capitulo VII - Conclusões



1. Conclusão

Este projecto proporcionou uma enorme aprendizagem tanto a nível de desenvolvimento de produtos como a nível de manipulação de ferramentas computacionais. Para o desenvolvimento desta dissertação, esteve envolvido um conjunto de conhecimentos adquiridos em diversas unidades curriculares que facilitaram a concretização deste projecto. Para além disso, é possível considerar que este trabalho poderá vir a ser uma mais valia abrindo as mentes para projectos futuros.

Como resultado deste projecto obteve-se um produto, completamente novo para o mercado, desenvolvido em materiais plásticos. A utilização deste tipo de materiais permitiu a obtenção de um produto com um peso reduzido, uma vez que a utilização de matérias muito pesados poderia prejudicar o seu funcionamento. Os materiais utilizando permitiram também a aquisição de um produto com estruturas e características estéticas específicas, possibilitando a introdução de cor ao produto, consoante o desejo do cliente.

Quando à análise económico, é possível concluir que o custo final do componente é de aproximadamente 96 €. É de facto um preço um pouco acima comparativamente com o dos sistemas já existente para a abertura de portas. No entanto é necessário ter em conta que este novo sistema de abertura de portas accionado pelo pé possui bastantes vantagens em relação aos outros sistemas, nomeadamente na maximização da higiene, permitindo também a abertura de portas sem ser necessário qualquer contacto do utilizador.

Após o desenvolvimento de todas as etapas e actividades relativas ao processo de desenvolvimento de novos produtos foi possível melhorar a metodologia seguida neste trabalho e obtida no projecto referente ao primeiro semestre deste ano lectivo. Foram introduzidas na metodologia, novas actividades, mais específicas, de maneira a que esta fique o mais detalhada possível, reduzindo o risco de alguma etapa de projecto poder ser esquecida, nomeadamente a parte do dimensionamento, que deve ser um processo cuidadoso, relacionando-se sempre com a modelação 3D e simulação mecânica de forma a obter uma peça que resista às advertências sem a utilização de excessos de matéria-prima. A nova metodologia está presente na figura 93.

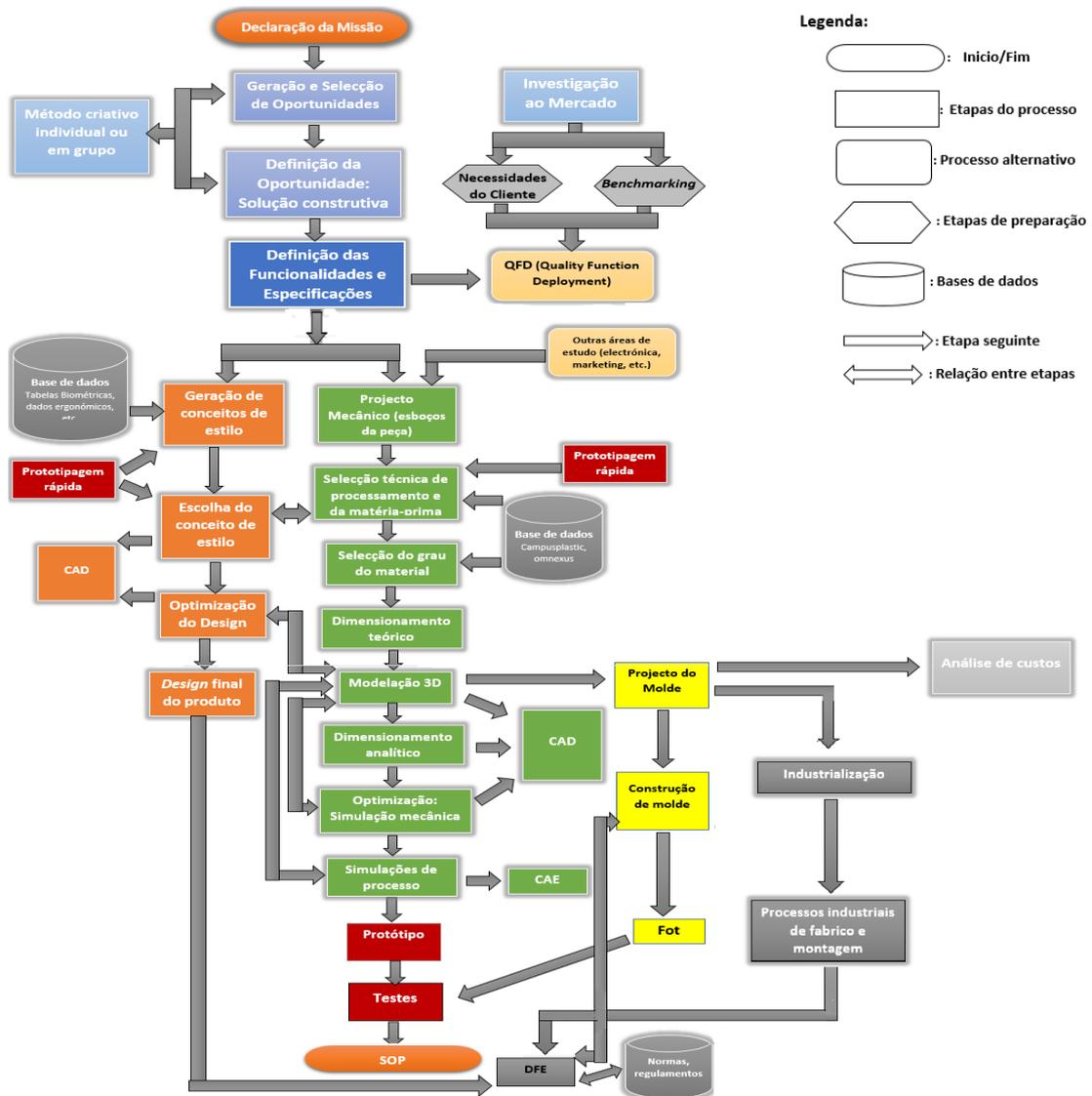


Figura 93 – Nova metodologia de processo resultante do desenvolvimento de um produto específico.

2. Sugestões para trabalhos futuros

Após conclusão do desenvolvimento do projecto, surgiram novas ideias que poderão ser desenvolvidas futuramente. Estas soluções servem essencialmente para melhorar o funcionamento do produto, e serão apresentadas de seguida.

Em trabalhos futuros é sugerido o desenvolvimento de um protótipo físico para a solução final do sistema de abertura de portas. A apresentação deste protótipo poderá ter previsão para a apresentação deste projecto. Utilizando este protótipo poderia ser possível verificar a sua



funcionalidade por meio da montagem dos diferentes componentes. Com isso, será possível verificar se esses componentes funcionam entre si sem qualquer tipo de restrições.

O protótipo poderá permitir perceber que tipo de alterações deverão ser feitas, ou se terão de ser incorporados mais ou menos componentes de forma a este funcionar tal como programado.

Num futuro esta solução poderá ser aperfeiçoada, resultando numa solução mais simples, sendo que o produto final resultante nesta dissertação poderá servir de base para o desenvolvimento de produtos semelhantes. É requerido também proceder ao registo da patente desta solução.

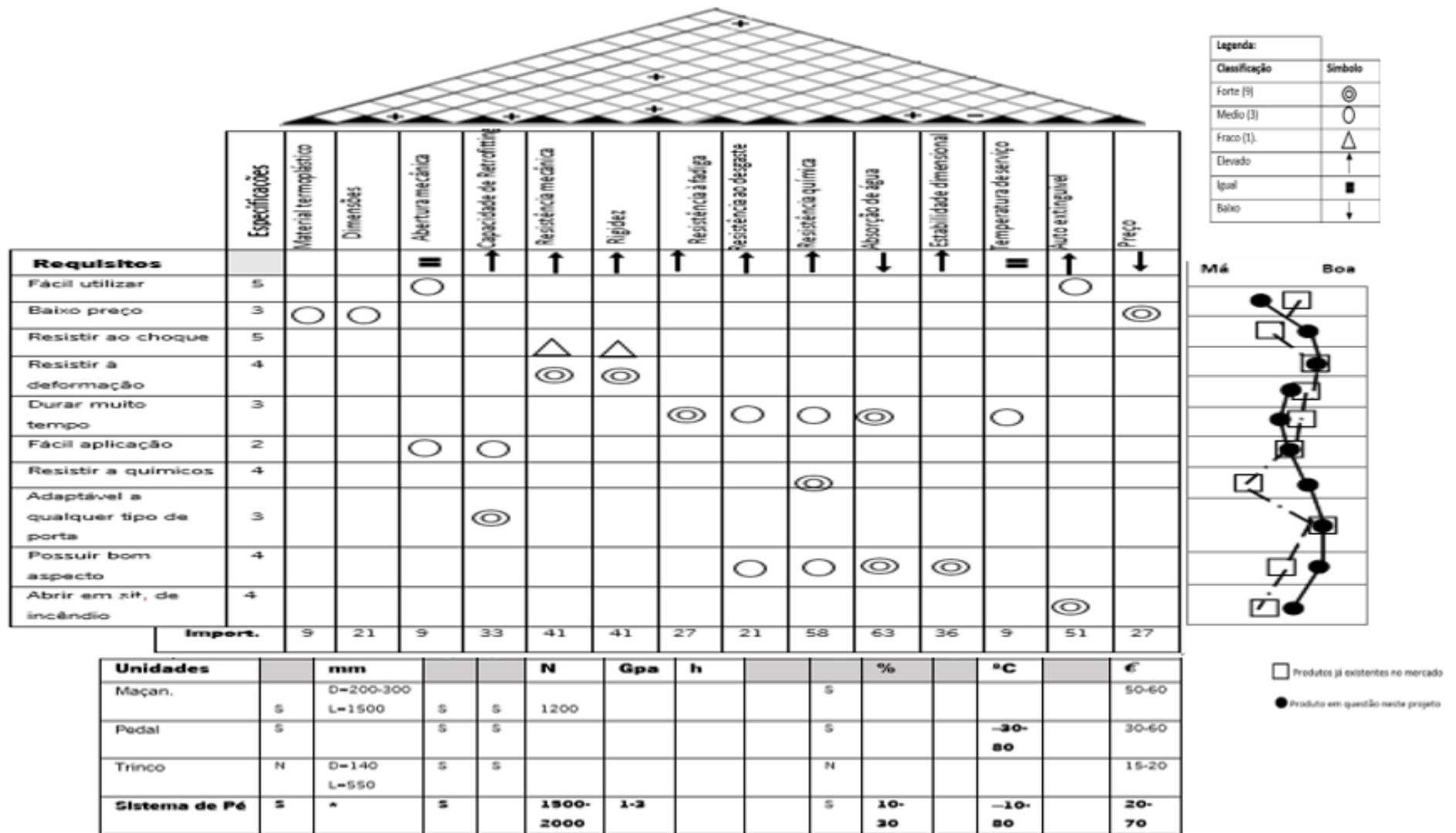
Em relação à metodologia resultante é possível continuar o seu desenvolvimento, uma vez que esta pode ser sempre aperfeiçoada. Por outro lado, é requerido a utilização desta metodologia no processo de desenvolvimento de outros produtos, tanto dentro da EDIN, como em outras organizações.

A última sugestão é a validação de conceito tendo em conta a vantagem deste tanto a nível de facilidade de utilização como a nível económico, podendo futuramente ser produzido e distribuído pelas casas de banho de locais públicos.

Anexos



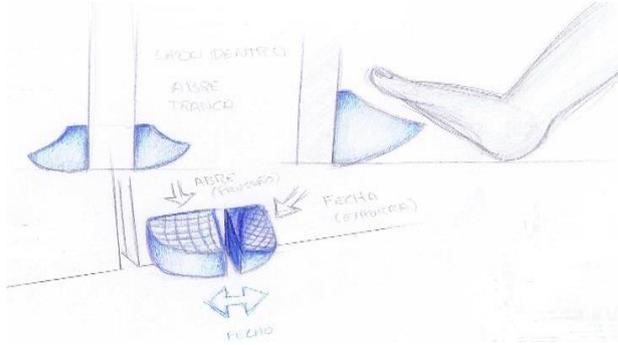
Anexo 1- QFD: Sistema de abertura de portas accionado pelo pé destinado a espaços públicos



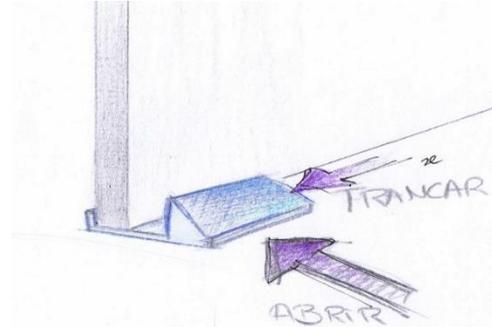


Anexo 2- Conceito de *desigr.* soluções gerados

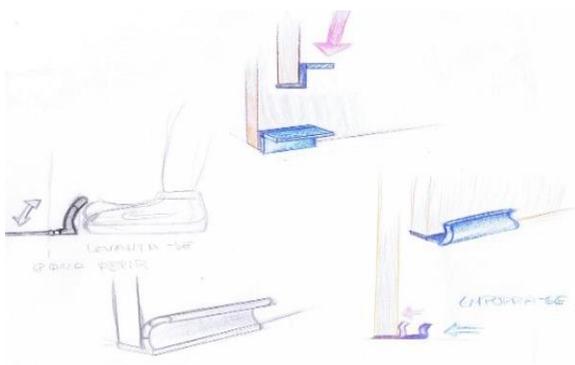
A. Sistema Pedal/trinco:



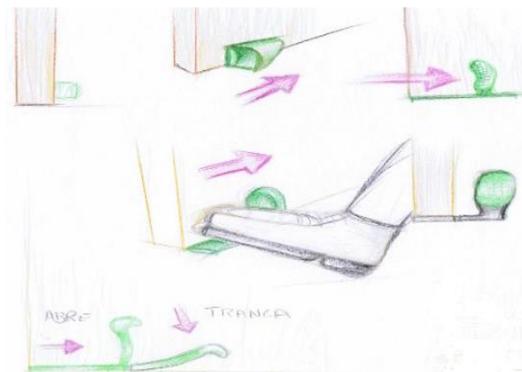
B. Sistema de movimento linear (eixo xx):



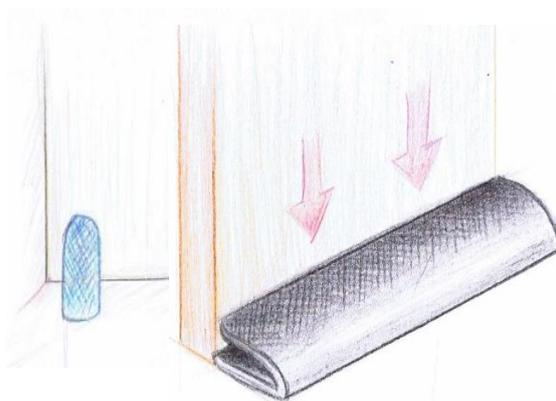
C. Sistema com movimento linear (eixo dos xx) e puxador de pé:



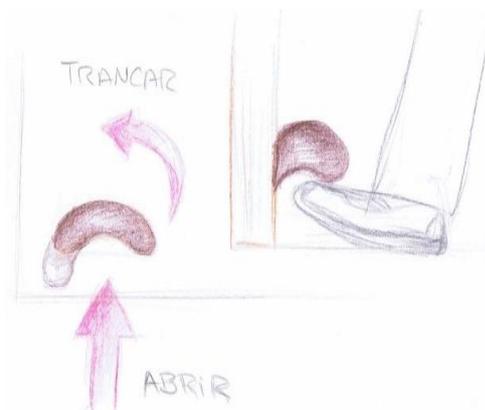
D. Sistema em forma de fecho: puxa e levanta:



E. Pedal/Peso:

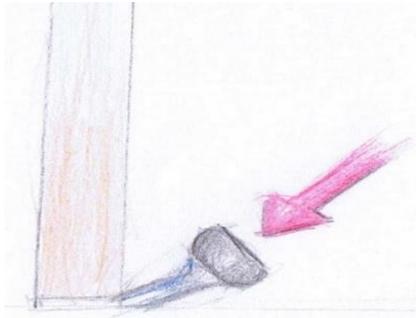


F. “Maçaneta” de pé:

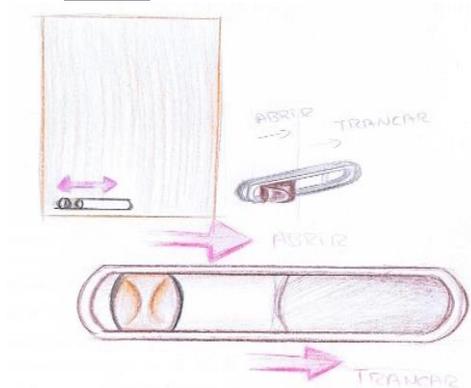




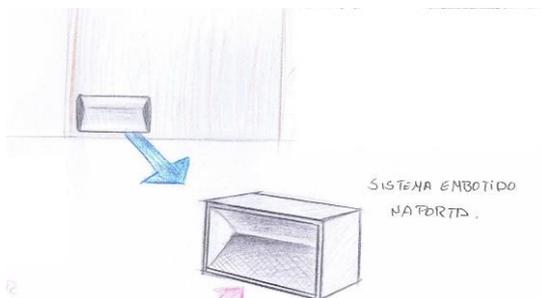
G. Sistema em forma de botão:



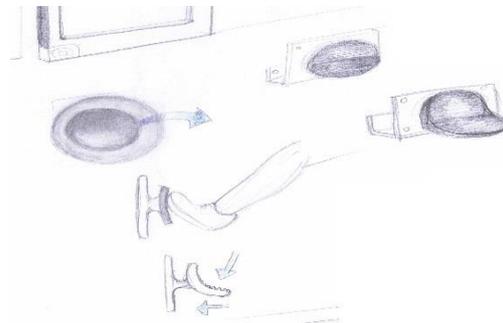
H. Trinco:



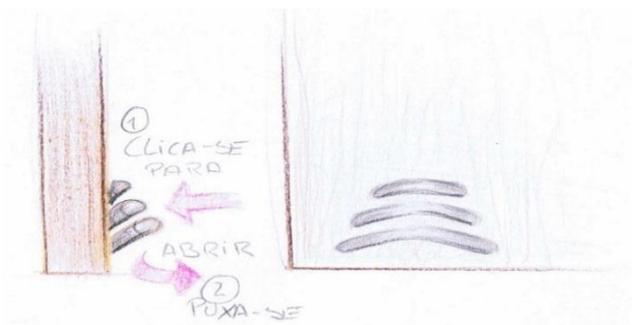
I. Sistema em caixa:



J. Sistema com encaixe do pé



K. Sistema de Click/Puxador:





Anexo 3 – Modelo do Questionário online

Questionário

Este questionário tem como objectivo perceber as dificuldades sentidas na abertura de uma porta e em que circunstâncias ocorrem essas dificuldades, bem como a necessidade da implementação de um novo sistema de abertura das mesmas. Responda às perguntas de forma clara e sincera, sendo que este não possui respostas certas ou erradas, apenas um valor informativo.

Género: M

F

Idade: _____

Habilitações literárias:

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Ensino básico-1ºciclo | <input type="checkbox"/> Ensino secundário |
| <input type="checkbox"/> Ensino básico -2º ciclo | <input type="checkbox"/> Bacharelato/Licenciatura |
| <input type="checkbox"/> Ensino básico -3º ciclo | <input type="checkbox"/> Mestrado/Doutoramento |

Mão dominante:

- Direita Esquerda Ambas

1. Tem filhos?

- Não Sim Com que idades? _____

2. Qual o seu sector laboral?

- Industria (têxtil, metalúrgica, automóvel,...)
- Cuidados de Saúde
- Comércio e serviços
- Ensino
- Doméstico
- Reformado
- Outros

3. Qual a sua profissão? _____

4. Possui algum tipo de deficiência motora?

- Não Sim Qual? _____



5. Qual destes sistemas prefere utilizar na abertura de uma porta? Seleccione apenas uma opção.

5.1. No espaço exterior da habitação/Porta de entrada:

- Sistemas manuais/tradicionais (ex.: maçaneta, puxador,...)
- Sistemas automáticos
- Outro. **Qual?** _____

5.2. Nos espaços interiores da habitação:

- Sistemas manuais/tradicionais (ex.: maçaneta, puxador,...)
- Sistema manual: Empurra ou puxar (ex.: porta vai-e-vem)
- Sistemas automáticos
- Outro. **Qual?** _____

5.3. Nas casas de banho públicas:

- Sistemas manuais/tradicionais (ex.: maçaneta, puxador,...)
- Sistema manual: Empurra ou puxar (ex.: porta vai-e-vem)
- Sistemas automáticos
- Outro. **Qual?** _____

6. Identifique as situações em que pode sentir dificuldades na abertura de uma porta quando utiliza os sistemas manuais/tradicionais? Pode seleccionar mais que uma opção.

- Não tem dificuldades
- Tem as mãos ocupadas (ex.: compras, crianças ao colo, ...)
- Tem algum tipo de limitação motora
- Tem as mãos sujas/molhadas
- Possui lesões/ferimentos
- Outras. Quais? _____

7. Considera pertinente outro sistema de abertura de portas alternativo accionado pelo pé?



Não Sim

Se respondeu “não” à pergunta anterior o seu questionário termina aqui.

Obrigada pela sua atenção.

7.1. Tendo em conta a pergunta anterior, em que circunstâncias considera pertinente um sistema alternativo de abertura de porta accionado pelo pé? Atribua a cada uma das seguintes situações um número de 1 a 7 consoante a sua importância, sendo 1 o de menor importância e 7 o de maior importância.

Espaços interiores habitacionais: _____

Espaços exteriores habitacionais: _____

Casa de banho públicas: _____

Ambiente hospitalar: _____

Ambiente industrial: _____

Ambientes de hotelaria e restauração: _____

Espaços comerciais: _____

7.2. Avalie de 1 a 6 de acordo com a sua importância, sendo 1 de nenhuma importância e 6 de elevada importância.

1	2	3	4	5	6
<input type="radio"/>					

7.3. Tendo em conta as circunstâncias em que considera mais importante a existência de um sistema de abertura de portas accionado pelo pé, quanto é que estaria disposto a gastar?

- ≤25€
- 26 ≤ 50 €
- 51 ≤ 100 €
- ≥101 €

**O seu questionário terminou.
Obrigada pela sua atenção!**



Anexo 4 - Explicação da pré-avaliação dos conceitos

Critérios	-	0	+
Precaver a utilização da mão /utilização inexistente	Utilização elevada do uso das mãos para a abertura da porta. Prevenção reduzida	Recurso à utilização da mão para a abertura da porta da mesma forma que os produtos já existente idênticos a este.	Utilização reduzida das mãos para a abertura da porta. Prevenção elevada.
Permite o trancamento da porta/ inovação	Significa que o conceito não permite um trancamento eficiente em relação aos já existentes, ou nem sequer permite o trancamento	Significa que o conceito permite o trancamento da porta idêntico aos conceitos já existentes.	Significa que permite um trancamento eficaz e inovador, melhor que os produtos já existentes.
Produzido maioritariamente por material plástico	Utilização reduzida de material plástico em relação aos produtos já existentes.	Utilização idêntica de material plástico em relação aos produtos já existentes	Utilização ampliada de material plástico em relação aos produtos já existentes
Ergonómico	Ergonomia inferior aos produtos já existentes, devido por exemplo à implicação de movimentos lineares do pé, originando lesões, ou devido à utilização do pé para puxar/empurra a porta causando desequilíbrios.	Ergonomia equivalente aos produtos já existentes no mercado	Ergonómico superior aos já existentes, podendo só implicar a utilização do pé, para tarefas fáceis, como carregar numa espécie de “pedal” ou “botão”, não exigindo movimentos desconfortáveis para o pé.
Capacidade de retrofitting	Capacidade reduzida para se adaptar a qualquer tipo de porta – Maior dificuldade na adaptação.	Capacidade/dificuldade para este se adaptar a uma porta igual aos produtos já existentes.	Capacidade relevada para se adaptar a qualquer tipo de porta – Menor dificuldade na adaptação.
Movimentos reduzidos	Não permite a redução de movimentos. Necessário um elevado número de movimentos para a abertura/fecho da porta.	Implicar em média o mesmo número de movimentos necessários para abrir uma porta que os produtos já existentes.	Redução dos movimentos (considerando qualquer parte do corpo), superior aos produtos já existentes”
Abertura rápida	Abertura da porta mais demorada em relação à utilização dos produtos já existentes, que se agrava com a existência de dificuldades físicas das pessoas em questão.	A rapidez de abertura é em media a mesma que a abertura de uma porta utilizando um produto já existente.	A abertura de porta pode ser feita de uma forma ligeiramente mais rápida em relação aos produtos já existentes, devido também à sua abertura mais simples.

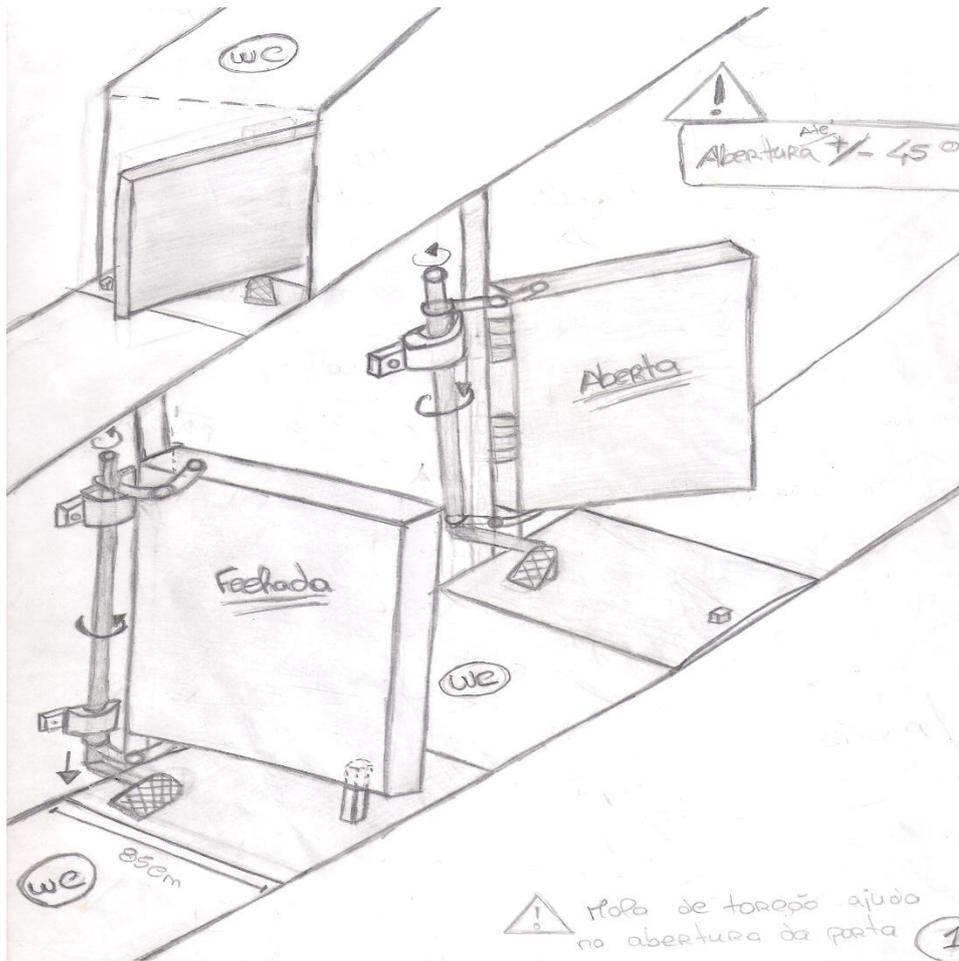


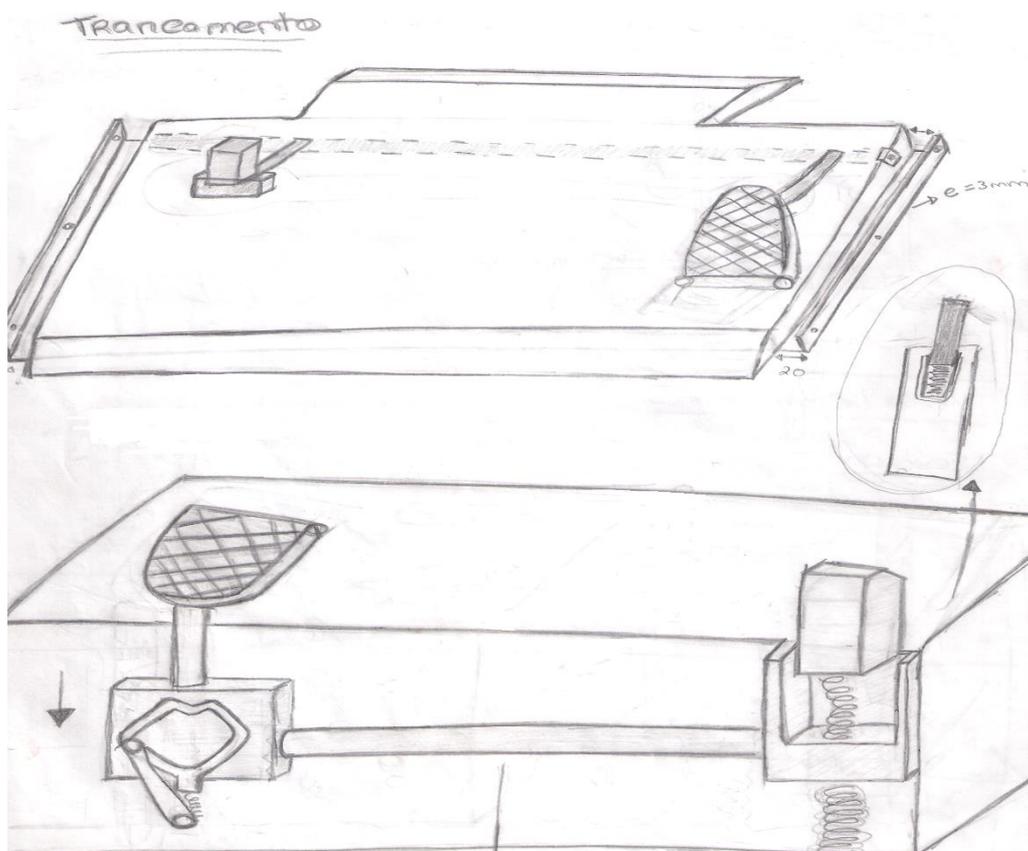
Anexo 5 - Explicação da avaliação dos conceitos finais.

Critérios	1	2	3	4	5
Precaver a utilização da mão /utilização inexistente	Precaução inexistente. Utilização exclusiva da mão	Precaução reduzida. Elevada utilização da mão.	Precaução intermédia. Utilização de diversas partes do corpo, inclusive da mão.	Precaução elevada. Utilização mínima da mão. Contacto rápido da mão com o objecto.	Total Precaução. Sem contacto da mão.
Permite o trancamento da porta/inovação	Sem trancamento. A porta fica somente “encostada” e permite a abertura dos dois lados.	Trancamento pouco eficiente. Só permite o fecho da porta, mas permite a abertura do lado de fora Ex. Maçaneta sem o uso da chave de bloqueio	Trancamento eficaz sem qualquer tipo de inovação.	Trancamento eficaz ligeiramente inovador.	Trancamento eficaz e inovador, original.
Produzido maioritariamente por material plástico	Sem utilização de materiais plásticos.	Utilização reduzida de materiais plásticos	Constituído tanto por materiais plásticos como por outro tipo de materiais não plásticos	Constituído maioritariamente por materiais plásticos.	Constituído unicamente por materiais plásticos.
Ergonómico	Ergonomia muito reduzida. Todos os movimentos são muito prejudiciais para o pé.	Ergonomia reduzida. Muitos movimentos são prejudiciais para o pé.	Ergonomia intermédia. Alguns dos movimentos podem ser prejudiciais.	Ergonomia relativamente boa. Sem movimentos prejudiciais para o bem-estar do utilizador.	Elevada ergonomia. Elevado conforto e facilidade de utilização.
Capacidade de retrofitting	Sem capacidade de se adaptar às portas já existentes. Necessidade de substituir a porta.	Capacidade reduzida de se adaptar as portas já existentes. Necessidade de grandes alterações.	Capacidade intermédia. Adaptação com a possibilidade de alterações na porta.	Boa capacidade de adaptação. Necessárias pequenas alterações na porta.	Capacidade de adaptação excelente. Sem qualquer tipo de alterações na porta.
Movimentos reduzidos	Necessários demasiados movimentos por parte do pé. >4	Elevados movimentos por parte do pé = 4	Necessidade de alguns movimentos por parte do pé. ≤3	Necessidade de poucos movimentos. ≤ 2	Sem necessidade de grandes movimentos por parte do pé. ≤1
Abertura rápida	Abertura demasiado lenta.	Abertura lenta.	Rapidez de abertura intermédia.	Abertura rápida.	Abertura instantânea.



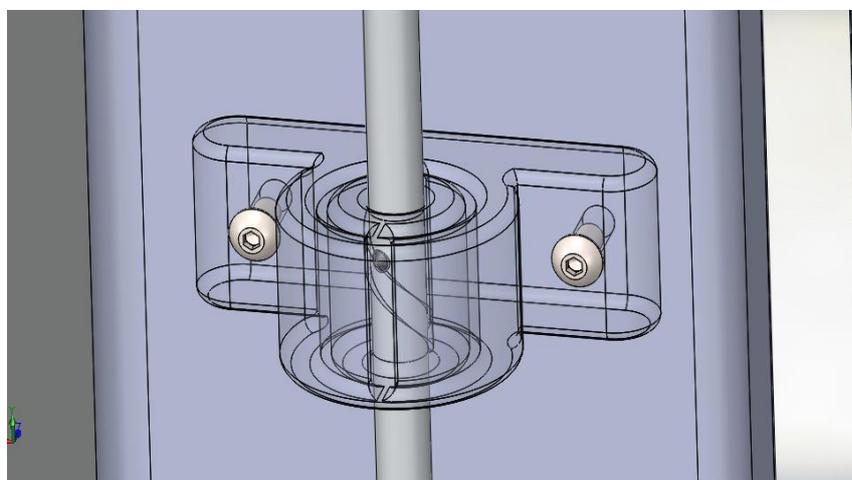
Anexo 6- Esboços que deram origem à solução construtiva.





Anexo 7 - Funcionamento da rotação do cilindro

Para a rotação do cilindro, que permite por sua vez a movimentação da porta, a chumaceira adquirida no mercado terá de ser editada, acrescentando um caminho interno igual ao representado na figura a seguir, de forma a permitir que o parafuso do cilindro percorra esse caminho e faça o cilindro girar.





Anexo 8- Ficha técnica do material seleccionado para o pedal e a base.

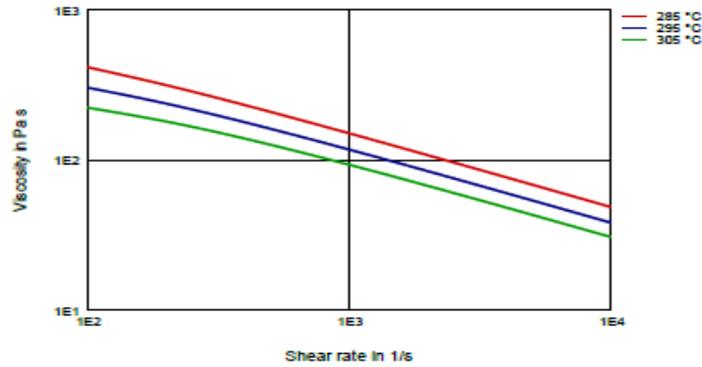
PRODUCT INFORMATION			
DuPont™ Zytel® 70G30HSLR BK099			
NYLON RESIN			
Product Information			
Common features of Zytel® nylon resin include mechanical and physical properties such as high mechanical strength, excellent balance of stiffness and toughness, good high temperature performance, good electrical and flammability properties, good abrasion and chemical resistance. In addition, Zytel® nylon resins are available in different modified and reinforced grades to create a wide range of products with tailored properties for specific processes and end-uses. Zytel® nylon resin, including most flame retardant grades, offer the ability to be coloured.			
The good melt stability of Zytel® nylon resin normally enables the recycling of properly handled production waste. If recycling is not possible, DuPont recommends, as the preferred option, incineration with energy recovery (-31kJ/g of base polymer) in appropriately equipped installations. For disposal, local regulations have to be observed.			
Zytel® nylon resin typically is used in demanding applications in the automotive, furniture, domestic appliances, sporting goods and construction industry.			
Zytel® 70G30HSLR BK099 is a 30% glass fiber reinforced, heat stabilized, hydrolysis resistant polyamide 66 resin for injection molding.			
General information	Value	Unit	Test Standard
Resin Identification	PA66-GF30	-	ISO 1043
Part Marking Code	>PA66-GF30<	-	ISO 11469
Rheological properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Molding shrinkage, parallel	0.3 / *	%	ISO 294-4, 2577
Molding shrinkage, normal	1.0 / *	%	ISO 294-4, 2577
Mechanical properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Tensile Modulus	10000 / 7000	MPa	ISO 527-1/-2
Stress at break	200 / 130	MPa	ISO 527-1/-2
Strain at break	3 / 5	%	ISO 527-1/-2
Flexural Modulus	- / 6500	MPa	ISO 178
Charpy impact strength			ISO 179/1eU
73°F	80 / 90	kJ/m ²	
-22°F	70 / 70	kJ/m ²	DS
Charpy notched impact strength			ISO 179/1eA
73°F	12 / 14	kJ/m ²	
-22°F	9 / 9	kJ/m ²	DS
Izod notched impact strength, 73°F	10 / 12	kJ/m ²	ISO 180/1A
A: Assessed DS: Derived from similar grade			
Thermal properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Melting temperature, 18°F/min	262 / *	°C	ISO 11357-1/-3
Temp. of deflection under load			ISO 75-1/-2
260 psi	253 / *	°C	
65 psi	261 / *	°C	
Coeff. of linear therm. expansion, parallel	22 / *	E-6/K	ISO 11359-1/-2
Coeff. of linear therm. expansion normal	81 / *	E-6/K	ISO 11359-1/-2
Normal, -40-23°C	72 / *	E-6/K	
Normal, 55-160°C	130 / *	E-6/K	
Parallel, -40-23°C	29 / *	E-6/K	
Parallel, 55-160°C	16 / *	E-6/K	
RTI, electrical			UL 746B
30mil	140 / *	°C	
60mil	140 / *	°C	
RTI, impact			UL 746B
30mil	125	°C	
60mil	125 / *	°C	
RTI, strength			UL 746B
30mil	140	°C	
-- --	-- --	--	
Flammability	dry / cond	Unit	Test Standard
Burning Behav. at 60mil nom. thickn.	HB / *	class	IEC 60695-11-10
Thickness tested	1.5 / *	mm	IEC 60695-11-10
UL recognition	UL / *	-	UL 94
Burning Behav. at thickness h	HB / *	class	IEC 60695-11-10
Thickness tested	0.75 / *	mm	IEC 60695-11-10
UL recognition	UL / *	-	UL 94
Oxygen index	24 / *	%	ISO 4589-1/-2
FMVSS Class	5E/B	-	ISO 3795 (FMVSS 302)
Burning rate, Thickness 1 mm	24	mm/min	ISO 3795 (FMVSS 302)
Electrical properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Comparative tracking index	400 / -	-	IEC 60112
Comparative tracking index CTI, 23°C	1 / -	PLC	UL 746A
Other properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Density	1370 / -	kg/m ³	ISO 1183
VDA Properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Emission of organic compounds	10	µgC/g	VDA 277
Odor test	5	class	VDA 270
Fogging, G-value (condensate)	0.6 / *	mg	ISO 6452
Injection	dry / cond	Unit	Test Standard
Drying Recommended	yes	-	-
Drying Temperature	80	°C	-
Drying Time, Dehumidified Dryer	2 - 4	h	-
Processing Moisture Content	≤0.2	%	-
Melt Temperature Optimum	295	°C	-
Min. melt temperature	285	°C	-
Max. melt temperature	305	°C	-
Max. screw tangential speed	0.2 / *	m/s	-
Mold Temperature Optimum	100	°C	-
Min. mold temperature	70	°C	-
Max. mold temperature	120	°C	-
Hold pressure range	50 - 100	MPa	-
Hold pressure time	3	s/mm	-
Ejection temperature	210	°C	-
Characteristics			
Processing	• Injection Molding		
Special characteristics	• Heat stabilized or stable to heat		
Regional Availability	• North America	• Asia Pacific	• Near East/Africa
	• Europe	• South and Central America	• Global



DuPont™ Zytel® 70G30HSLR BK099 NYLON RESIN

Diagrams

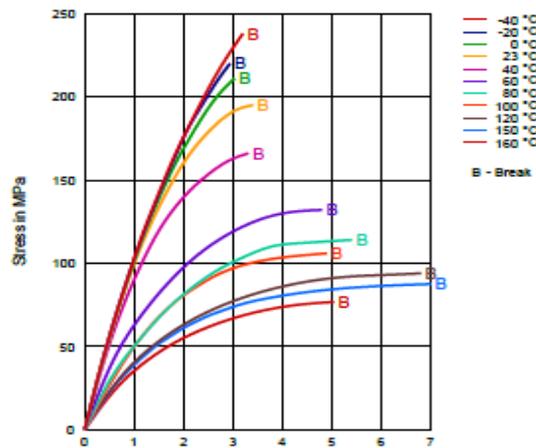
Viscosity-shear rate



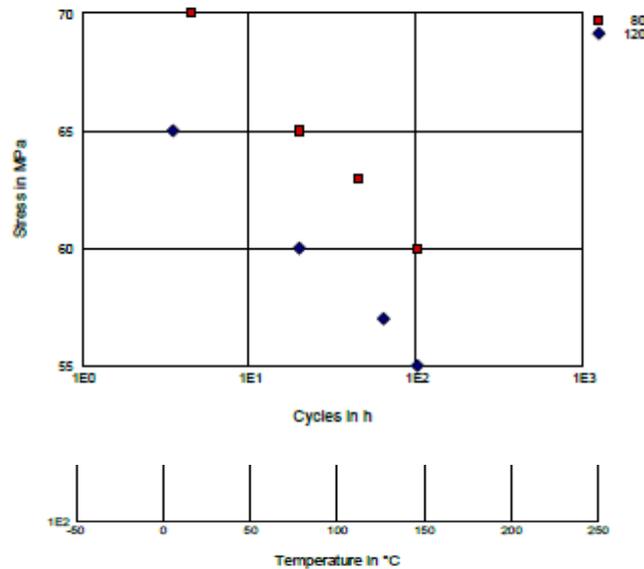
Shearstress-shear rate



Stress-strain (dry)(measured on Zytel® 70G30HSLR NC010)



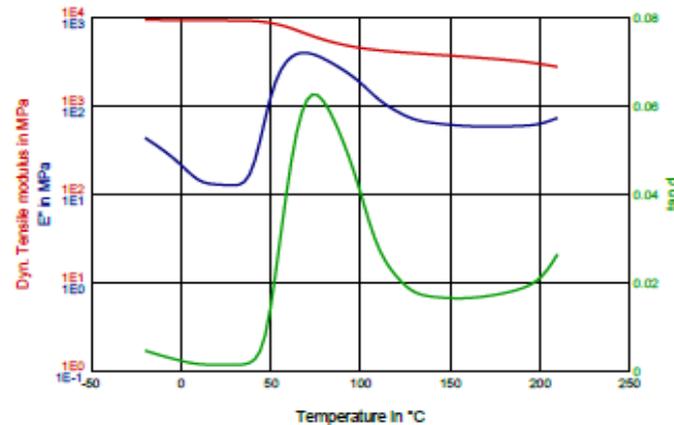
Fatigue (Wöhler), tensile (dry)





DuPont™ Zytel® 70G30HSLR BK099 NYLON RESIN

Dynamic Tensile modulus-temperature (dry)



Anexo 9- Ficha tecnica do material selecionado para os cilindros

Ultraform® S2320 003



Product Information

Typical values for uncoloured product at 23 °C ¹⁾	Test method	Unit	Values ²⁾
Properties			
Polymer abbreviation	-	-	POM
Density	ISO 1183	kg/m ³	1400
Water absorption, equilibrium in water at 23°C	similar to ISO 62	%	0.8
Moisture absorption, equilibrium 23°C/50% r.h.	similar to ISO 62	%	0.20
Processing			
Processing: Injection moulding (M), Extrusion (E), Blow moulding (B)	-	-	M
Melting temperature, DSC	ISO 11357-1/-3	°C	167
Melt volume-flow rate MVR at 190 °C and 2.16 kg	ISO 1133	cm ³ /10min	11
Melt temperature, injection moulding	-	°C	190 - 230
Mould temperature, injection moulding	-	°C	60 - 120
Molding shrinkage (parallel)	ISO 2577, 294-4	%	2.10
Molding shrinkage (normal)	ISO 2577, 294-4	%	2.10
Flammability			
UL94 rating at 1,6 mm thickness	IEC 60895-11-10	class	HB
Automotive materials (thickness d >= 1mm) ³⁾	FMVSS 302	-	+
Mechanical properties			
Tensile modulus	ISO 527-1/-2	MPa	2700
Yield stress, 50 mm/min	ISO 527-1/-2	MPa	65
Yield strain, 50 mm/min	ISO 527-1/-2	%	9
Nominal strain at break, 50 mm/min	ISO 527-1/-2	%	28
Tensile creep modulus, 1000 h, strain <= 0,5%, 23°C	ISO 899-1	MPa	1300
Charpy unnotched impact strength (23°C)	ISO 179/1eU	kJ/m ²	180
Charpy unnotched impact strength (-30°C)	ISO 179/1eU	kJ/m ²	170
Charpy notched impact strength (23°C)	ISO 179/1eA	kJ/m ²	5.5
Charpy notched impact strength (-30°C)	ISO 179/1eA	kJ/m ²	5
Ball indentation hardness at 358 N and 30 s	ISO 2039-1	MPa	145
Thermal properties			
HDT A (1.80 MPa)	ISO 75-1/-2	°C	100
Max. service temperature (short cycle operation)	-	°C	100
Coefficient of linear thermal expansion, longitudinal (23-55)°C	ISO 11359-1/-2	E-6/K	110
Electrical properties			
Relative permittivity (1 MHz)	IEC 60250	-	3.8
Dissipation factor (1 MHz)	IEC 60250	E-4	50
Volume resistivity	IEC 60093	Ohm*m	1E13
Surface resistivity	IEC 60093	Ohm	1E13
Comparative tracking index, CTI, test liquid A	IEC 60112	-	600



Anexo 10- Expressões utilizadas no dimensionamento teórico.

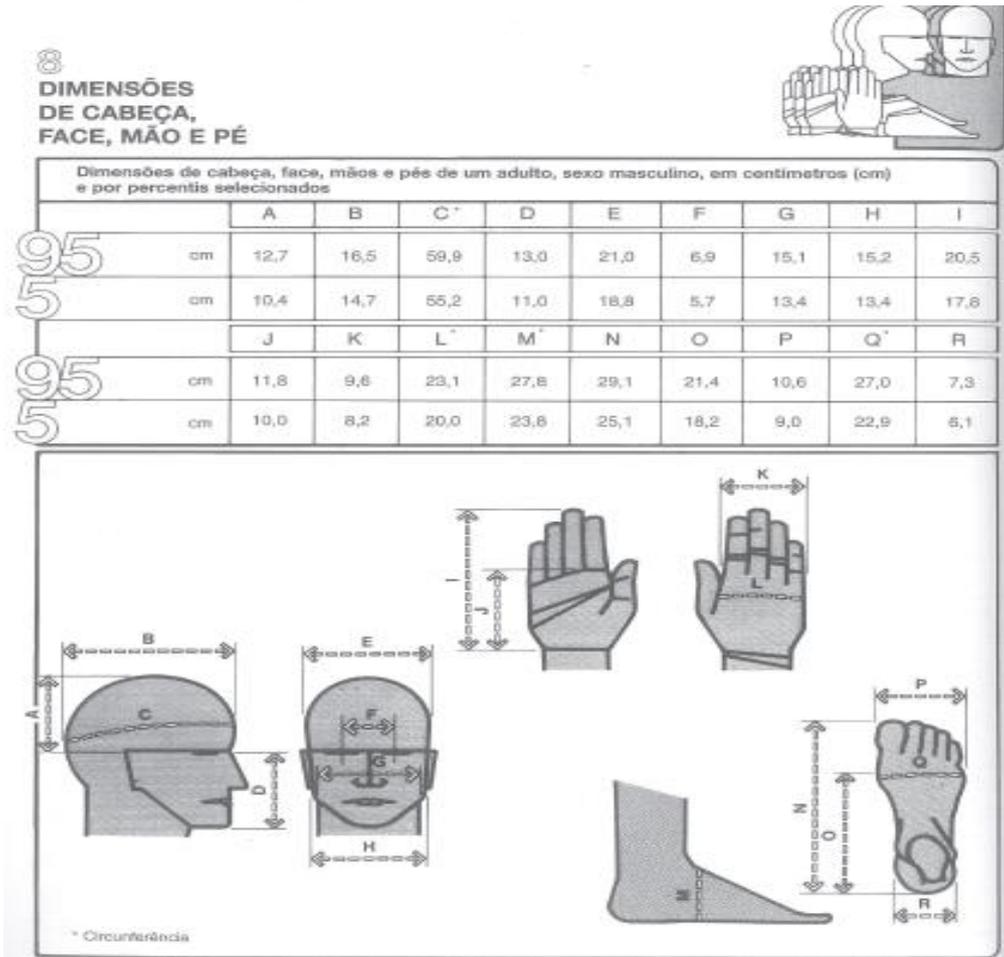
Viga e Carregamento	Linha Elástica	Flecha Máxima	Inclinação e Extremidade	Equação da Linha Elástica
		$-\frac{PL^3}{3EI}$	$-\frac{PL^2}{2EI}$	$y = \frac{P}{6EI}(x^3 - 3Lx^2)$
		$-\frac{wL^4}{8EI}$	$-\frac{wL^3}{6EI}$	$y = -\frac{w}{24EI}(x^4 - 4Lx^3 + 6L^2x^2)$
		$-\frac{ML^2}{2EI}$	$-\frac{ML}{EI}$	$y = -\frac{M}{2EI}x^2$
		$-\frac{PL^3}{48EI}$	$\pm \frac{PL^2}{16EI}$	Para $x \leq \frac{1}{2}L$: $y = \frac{P}{48EI}(4x^3 - 3L^2x)$
		Para $a > b$: $\frac{Pb(L^2 - b^2)^{3/2}}{9\sqrt{3}EI}$ à $x_m = \sqrt{\frac{L^2 - b^2}{3}}$	$\theta_A = -\frac{Pb(L^2 - b^2)}{6EIL}$ $\theta_B = +\frac{Pa(L^2 - a^2)}{6EIL}$	Para $x < a$: $y = \frac{Pb}{6EIL}[x^3 - (L^2 - b^2)x]$ Para $x = a$: $y = -\frac{Pa^2b^2}{3EIL}$
		$-\frac{5wL^4}{384EI}$	$\pm \frac{wL^3}{24EI}$	$y = -\frac{w}{24EI}(x^4 - 2Lx^3 + L^2x)$
		$\frac{ML^2}{9\sqrt{3}EI}$	$\theta_A = +\frac{ML}{6EI}$ $\theta_B = -\frac{ML}{3EI}$	$y = -\frac{M}{6EIL}(x^3 - L^2x)$

Momentos de Inércia de Formas Geométricas Comuns

Retângulo		$\bar{I}_x' = \frac{1}{12}bh^3$ $\bar{I}_y' = \frac{1}{12}b^3h$ $I_x = \frac{1}{3}bh^3$ $I_y = \frac{1}{3}b^3h$ $J_C = \frac{1}{12}bh(b^2 + h^2)$	Semicírculo		$I_x = I_y = \frac{1}{8}\pi r^4$ $J_O = \frac{1}{4}\pi r^4$
Triângulo		$\bar{I}_x' = \frac{1}{36}bh^3$ $I_x = \frac{1}{12}bh^3$	Quarto de círculo		$I_x = I_y = \frac{1}{16}\pi r^4$ $J_O = \frac{1}{8}\pi r^4$
Círculo		$\bar{I}_x = \bar{I}_y = \frac{1}{4}\pi r^4$ $J_O = \frac{1}{2}\pi r^4$	Elipse		$\bar{I}_x = \frac{1}{4}\pi ab^3$ $\bar{I}_y = \frac{1}{4}\pi a^3b$ $J_O = \frac{1}{4}\pi ab(a^2 + b^2)$

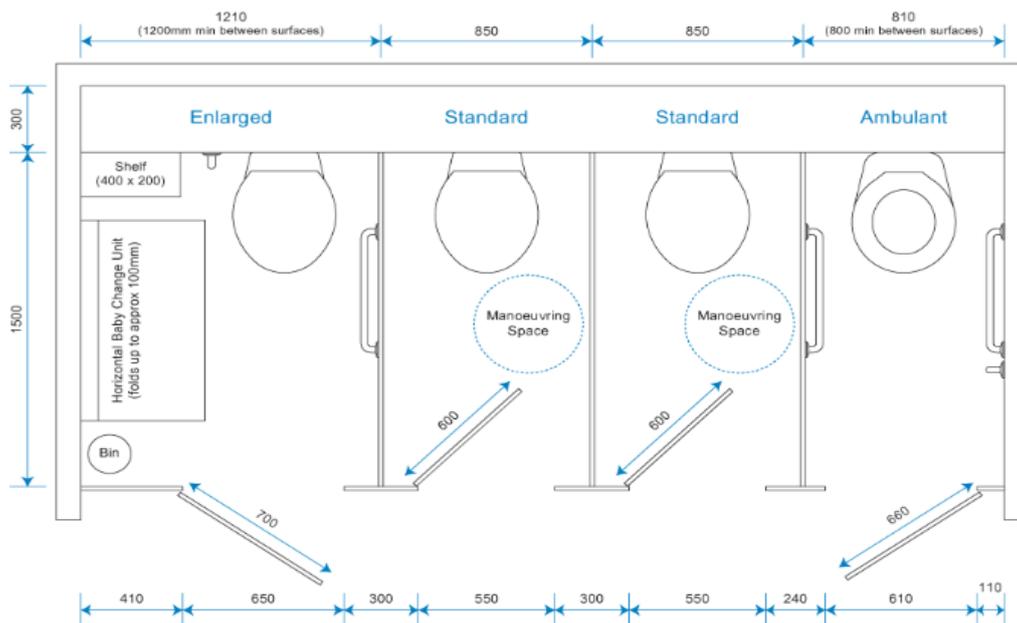


Anexo 11- Tabelas antropométricas e dimensões das cabines de WC



Standard Toilet Cubicle Sizes

The following standard cubicle sizes refer to Building Regulations Part M and the Equality Act 2010 for guidance only. Cubicle Centre can manufacture made-to-measure cubicles to suit your individual washroom requirements.





Anexo 12 – orçamento para os custos dos componentes projectados.

CÁLCULO DE ORÇAMENTOS					
OFERTA DE PREÇO COMPONENTE					
<i>Fornecimento de componentes em plástico</i>					
Nome do componente	Pedal Grande	Pedal Pequeno	base	Cilindro 1	Cilindro 2
Referência					
Quantidade/ano	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000
Tempo de vida do produto					
Cliente					
Orçamento nº					
<i>Matéria-prima</i>					
Matéria-prima utilizada	Grivory	Grivory	Grivory	Grivory	Grivory
Cor do material					
Peso líquido (g)	204,00	59,00	5394,00	33,00	55,00
Jito (g)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
% reciclado					
<i>Logística - Embalagem</i>					
Descrição da embalagem					
Custo da embalagem					
Tamanho do lote	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000
Quant. Peças por embalagem	1	1	1	1	1
Local de entrega					
Custo do transporte em €	0	0	0	0	0
<i>Produção</i>					
Tecnologia utilizada					
Força de fecho					
Trabalhador directo	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
Tempo de ciclo (s)	58	58	60	55	55
Nº de componentes por hora	124	124	60	131	131
Equipamento necessário					
<i>Ferramenta</i>					
Numero de cavidades	1+1	1+1		1+1	1+1
Tamanho da ferramenta	2	2	1	2	2
Tempo de vida em anos ou cicl	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000
Prazo de entrega (semanas)					
Preço total em €	42.000,00		98.000,00	37.000,00	
<i>Matéria-prima</i>					
Custo de material em €/ Kg	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50
Custo de gestão do material (%)	5	5	5	5	5
Preço total em €	1,1781	0,3407	31,1504	0,1906	0,3176
<i>Valor acrescentado</i>					
Custo de arranque em €	13,00	13,00	30,00	12,00	12,00
Custo hora-máquina em €	13,00	13,00	30,00	12,00	12,00
Custo de MH directa em €	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50
Produtividade (%)	85	85	85	85	85
Valor acrescentado em €	0,1457	0,1457	0,6353	0,1291	0,1291



Componentes					
Tipo de componente 1					
Custo de componente 1 em €					
Quantidade de componente 1					
Tipo de componente 2					
Custo de componente 2 em €					
Quantidade de componente 2					
Tipo de componente 3					
Custo de componente 3 em €					
Quantidade de componente 2					
Custo total de componentes em €					
Outras operações					
Tipo de operação 1					
Custo de operação 1 em €					
Tipo de operação 1					
Custo de operação 1 em €					
Tipo de operação 1					
Custo de operação 1 em €					
Custo total de operações em €	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Logística					
Custo com embalagem em €	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Custo de transporte em €	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Preço do componente em €	1,3238	0,4864	31,7856	0,3197	0,4467
Margem pretendida em %	30	30	30	30	30
Preço de venda do componente	1,8911	0,6949	45,4081	0,4567	0,6382
	3,78	1,39	90,82	0,91	1,28



Referências Bibliográficas

- [1] F. Xavier, “Processo de concepção e desenvolvimento de produtos : Caso de estudo de um produto Especifico- Projecto Individual,” Universidade do Minho, 2015.
- [2] “Especificação de maçaneta exige conhecimento técnico | AECweb.” [Online]. Available: http://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/especificacao-de-macaneta-exige-conhecimento-tecnico_7718_0_1. [Accessed: 19-Oct-2015].
- [3] “Noticias ao Minuto - Inventada solução para bactérias em portas de casas de banho.” [Online]. Available: <http://www.noticiasao minuto.com/tech/409418/inventada-solucao-para-bacterias-em-portas-de-casas-de-banho>. [Accessed: 14-Jan-2016].
- [4] “Foot Latch.” [Online]. Available: <http://www.behzadrashidi.com/227040/2576107/projects/foot-latch>. [Accessed: 19-Oct-2015].
- [5] V. S. Brown, “FOOT-OPERATED DOOR OPENER,” U.S. Patent 0 197 648, 2014.
- [6] S. KLEIN, “FOOT-OPERATED DOOR-OPENER,” U.S. Patent 0 207 406, 2013.
- [7] W. M. -, G. Z. -, and Y. H. -, “Learning Orientation, Process Innovation, and Firm Performance in Manufacturing Industry,” *Int. J. Adv. Inf. Sci. Serv. Sci.*, vol. 3, no. 11, pp. 357–364, Dec. 2011.
- [8] R. G. Cooper, “A Process Model for Industrial New Product Development,” *IEEE Trans. Eng. Manag.*, vol. EM30, no. 1, pp. 213–232, 1983.
- [9] G. L. Urban and J. R. Hauser, *DESIGN AND MARKTING OF NEW PRODUCTS*, 2nd Ed. New Jersey: Prentice-Hall International Inc., 1993.
- [10] M. Crawford and A. Di Benedetto, *NEW PRODUCTS MANAGEMENT*, 10th Ed. New York: McGraw-Hill Education, 2011.
- [11] C. Maier, “Design Guides for Plastics,” *Design*, no. April, 2009.
- [12] Bayer MaterialScience, “Part and Mold Design - A Design Guide,” p. 174, 2000.
- [13] DuPont, “Top ten Design tips.”
- [14] J. Melorose, R. Perroy, and S. Careas, *Injection Molding Handbook*, vol. 1. 2015.
- [15] M. Catusse, “Extrusão,” pp. 1–24, 2009.
- [16] F. Duarte, “O que é a termoformação ? Sides da disciplina,” pp. 1–30.
- [17] R. J. Crawford and M. P. Kearns, “Rotational moulding.,” *Med. Device Technol.*, vol. 14, no. 8, pp. 20–21, 2003.
- [18] D. V. Rosato, *Blow Molding Handbook*. 1989.
- [19] A. J. Pontes, “Regras de Projecto.”
- [20] Innova, “Manual Injeção.”
- [21] U. Karcher and S. Eppinger, *Product Design and Development*, 5th Ed. New York: McGraw-Hill Education, 2011.



- [22] A. S. Pouzada, "PROJECTO DE PEÇAS EM PLÁSTICO - textos de apoio à disciplina de PROJECTO PEÇAS," Guimarães, 1999.
- [23] S. Roper, P. Micheli, J. H. Love, and P. Vahter, "The roles and effectiveness of design in new product development: A study of Irish manufacturers," *Res. Policy*, vol. 45, no. 1, pp. 319–329, Feb. 2016.
- [24] S. Pugh, *Total Design Integrated Methods For Successful Product Engineering*. Addison-Wesley Publishing Company, 1991.
- [25] C. Cramez, "TERMOPLÁSTICOS Propriedades e Aplicações Objetivos," 2014.
- [26] F. P. B. Beer, E. R. Johnston, and J. T. DeWolf, *Resistência dos Materiais*, 4ª Edição. 2006.
- [27] S. H. Speed, "Designing with Plastics," 1952.
- [28] "SolidWorks Web Help." [Online]. Available: <http://help.solidworks.com/HelpProducts.aspx>. [Accessed: 18-May-2016].
- [29] J. M. Simões Morais, *Desenho técnico básico*. .
- [30] "A New Look at Evaluating Fill Times For Injection Molding : Plastics Technology." [Online]. Available: <http://www.ptonline.com/articles/a-new-look-at-evaluating-fill-times-for-injection-molding>. [Accessed: 23-May-2016].
- [31] N. Ricardo and P. Moreira, "Optimização das Condições de Processamento Utilizando Simulação Numérica Estágio realizado na Empresa Simoldes Plásticos," 2009.
- [32] "Autodesk Knowledge Network." [Online]. Available: <https://knowledge.autodesk.com/>. [Accessed: 20-May-2016].