



# Desenvolvimento de aplicação gráfica para extração automática de medidas antropométricas de nuvens de pontos de cabeças

**PEDRO MIGUEL DOS SANTOS OLIVEIRA**

Outubro de 2019

**Desenvolvimento de aplicação gráfica para  
extração automática de medidas antropométricas  
de nuvens de pontos de cabeças**

**Pedro Miguel Santos Oliveira**

**Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia Informática, Área de Especialização em  
Sistemas Gráficos e Multimédia**

**Orientador: Prof. Doutor António Abel Vieira de Castro**



*A todos aqueles que de alguma forma estiveram ou estão próximos de mim que acreditam e  
continuam a acreditar em mim*





Este trabalho foi financiado pelos projetos NORTE-01-0145-FEDER-024300 ("SmartOrthosis"), suportado pelo Programa Operacional Regional do Norte (Norte2020), sobre o Acordo de Parceria Portugal 2020, através do Fundo de Desenvolvimento Regional Europeu (FEDER), e também foi financiado pelos fundos FEDER, através do Programa Operacional de Fatores de Competitividade (COMPETE).



# Resumo

Atualmente, existe uma grande necessidade de automatizar os processos de diversas áreas de forma a torná-los mais eficazes e eficientes. Uma das áreas que aposta frequentemente neste tipo de automação é a medicina. Através da combinação dos conhecimentos médicos e das novas tecnologias, novas técnicas médicas surgem, melhorando assim o diagnóstico e o tratamento dos pacientes, ajudando assim os pacientes e os médicos.

O projeto SmartOrthosis pretende simplificar o tratamento de plagiocefalia posicional, melhorando a sua eficiência e a sua eficácia. Isto será conseguido através da automatização do processo de criação de ortóteses cranianas para o tratamento da plagiocefalia posicional. A plagiocefalia posicional é uma condição caracterizada por uma distorção assimétrica do crânio de bebés.

Este trabalho focou-se no desenvolvimento e implementação de uma interface gráfica de suporte à solução, que a partir de nuvens de pontos da cabeça de um bebé, que fosse capaz de detetar os pontos de referência e medidas necessárias para o diagnóstico e geração da ortótese craniana necessária para o tratamento.

Este documento descreve o processo do desenvolvimento da solução, passando por todas fases, desde a análise do projeto até à implementação e avaliação da solução.

O projeto SmartOrthosis foi desenvolvido através de uma parceria entre o Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP /LAMU), o Instituto Politécnico do Cávado e do Ave (IPCA /2AI) e o Centro de Investigação em Tecnologias e Serviços de Saúde (CINTESIS) e foi financiado pelos programas NORTE2020 e FEDER.

**Palavras-chave:** Plagiocefalia Posicional, Nuvens de Pontos, Medições Automatizadas



# Abstract

Nowadays, there is a great need to automate processes in several areas to make them more efficient and effective. One of the areas that bets often in this type of automation is medicine. By combining the medical knowledge and the new technologies, new medical techniques emerge, thus improving the diagnosis and treatment of patients, thus helping patients and doctors.

The SmartOrthosis project aims to simplify the treatment of positional plagiocephaly by improving its efficiency and effectiveness. This will be achieved by automating the process of creation of cranial orthosis for the treatment of positional plagiocephaly. Positional plagiocephaly is a condition characterized by an asymmetrical distortion of the baby's skull.

This work will focus on the development and implementation of a graphical interface of support to the solution, which from points clouds of the head of a baby, be able to detect the reference points and measures necessary for the diagnosis and generation of the cranial orthosis necessary for the treatment.

This document will describe the development process of the solution, approaching all phases, from the project analysis to the implementation and evaluation of the solution.

The SmartOrthosis project was developed through a partnership between Institute of Engineering – Polytechnic of Porto (ISEP /LAMU), the Polytechnic Institute of Cávado and Ave (IPCA /2AI) and Center for Health Technology and Services Research (CINTESIS), funded by the NORTE2020 and FEDER programs.

**Keywords:** Positional Plagiocephaly, Point Clouds, Automatic Measures



# Agradecimentos

Não poderia deixar de registar neste documento todos aqueles que me apoiaram durante a realização desta dissertação, e que os que tornaram possível a realização deste projeto, por muito ínfima que possam considerar a sua ajuda. especialmente ao meu orientador Prof. Doutor António Vieira Castro, pela sua sempre pronta disponibilidade, dedicação e empenho.

Agradeço ao Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP) e ao Departamento de Engenharia informática (DEI) e respetivos docentes, por todo o conhecimento durante o meu percurso na Licenciatura em Engenharia Informática.

Agradeço ao meu colega Ângelo Pinto por ter-me acompanhado ao longo do projeto.

Ao Prof. Doutor João Vilaça, do Instituto Politécnico do Cávado e do Ave (IPCA) pela proposta do projeto SmartOrthosis à Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT).





# Índice

<b>Capítulo 1. Introdução.....</b>	<b>29</b>
1.1 Contextualização .....	30
1.2 Problema.....	31
1.3 Objetivos e contributos esperados .....	32
1.4 Análise de valor.....	32
1.5 Estrutura do documento .....	33
<b>Capítulo 2. Contexto.....</b>	<b>35</b>
2.1 Introdução .....	35
2.2 Reconhecimento de referências anatómicas .....	36
2.2.1 O tragion.....	37
2.2.2 O sellion.....	37
2.3 Medidas anatómicas da cabeça .....	38
2.3.1 Os planos de medição .....	38
2.3.2 O comprimento craniano.....	39
2.3.3 A largura craniana.....	39
2.3.4 A circunferência craniana .....	39
2.3.5 O índice cefálico .....	40
2.3.6 A diferença das diagonais.....	40
2.3.7 O índice de assimetria posterior cranial .....	41
2.3.8 O índice de assimetria anterior cranial .....	41
2.3.9 O offset das orelhas.....	42
<b>Capítulo 3. Análise de valor .....</b>	<b>43</b>
3.1 Contextualização .....	43
3.2 Processo de inovação .....	45
3.2.1 Identificação da oportunidade .....	47
3.2.2 Análise da oportunidade .....	47
3.2.3 Geração de ideias .....	48
3.2.4 Seleção de ideias.....	49
3.2.5 Conceito e desenvolvimento tecnológico .....	49

3.3	Quadro de modelo de negócio .....	50
3.3.1	Parceiros chave .....	52
3.3.2	Atividades chave.....	52
3.3.3	Recursos chave.....	52
3.3.4	Proposta de valor.....	52
3.3.5	Relação com os clientes.....	53
3.3.6	Canais .....	53
3.3.7	Segmentos de mercado.....	53
3.3.8	Estrutura de custos.....	53
3.3.9	Fontes de receita.....	54

## **Capítulo 4. Estado da arte e contextualização tecnológica..... 55**

4.1	Introdução .....	55
4.2	Métodos clássicos de medição.....	56
4.2.1	Verificação visual.....	56
4.2.2	Medições usando compasso antropométrico.....	56
4.2.3	Flexicurve.....	56
4.2.4	Tomografia computadorizada e radiografias .....	57
4.3	Medição automática.....	57
4.3.1	Projeto de Kirk Smith .....	58
4.3.2	Projeto de Ricardo de Sousa .....	58
4.4	Conclusões sobre o estado da arte .....	58
4.5	Análise e contextualização tecnológica .....	59
4.5.1	Visualizador de nuvens de pontos: MeshLab.....	59
4.5.2	Motor gráfico: Unity .....	59
4.5.3	Asp.Net Core .....	60
4.5.4	PostgreSQL.....	60
4.5.5	Linguagem de programação C# .....	61
4.5.6	Linguagem de programação R.....	61

## **Capítulo 5. Design da solução .....** 63

5.1	O design de interfaces gráficas .....	63
5.1.1	Adequação da interface gráfica ao utilizador .....	65
5.1.2	Padrões de design de interfaces gráficas .....	66
5.2	A versão 1.0 da solução SmartOrthosis .....	67
5.2.1	Casos de uso.....	67

5.2.2	Diagrama de arquitetura .....	71
5.2.3	Mapa de navegação .....	72
5.3	A versão 2.0 da solução SmartOrthosis .....	74
5.3.1	Diagrama de arquitetura .....	74
5.3.2	Casos de uso.....	75
5.3.3	Diagrama relacional.....	78
5.3.4	Mapa de navegação da aplicação.....	79
5.4	Modelo de teste.....	81
5.4.1	Dataset 1.....	81
5.4.2	Dataset 2.....	82
5.4.3	Dataset 3.....	82
<b>Capítulo 6. A solução SmartOrthosis e a interface gráfica de suporte .....</b>		<b>85</b>
6.1	Centralização das nuvens de pontos das cabeças .....	85
6.2	Orientação das nuvens de pontos das cabeças .....	86
6.3	Comparação de nuvens de pontos de cabeças .....	89
6.4	Evolução da interface gráfica .....	91
6.4.1	Interface na 1ª milestone .....	91
6.4.2	Interface na 2ª milestone .....	92
6.4.3	Interface na 3ª milestone .....	92
6.4.4	Interface na 4ª milestone .....	93
6.4.5	Interface na 5ª milestone .....	94
6.4.6	Interface na 6ª milestone .....	95
6.4.7	Interface na 7ª milestone .....	96
6.4.8	Interface na 8ª milestone .....	98
6.4.9	Interface na 9ª milestone .....	101
6.5	Backend .....	103
<b>Capítulo 7. Avaliação da solução .....</b>		<b>107</b>
7.1	QEF.....	107
7.2	Testes funcionais .....	111
7.2.1	Teste funcional ao requisito FPC01 .....	111
7.2.2	Teste funcional ao requisito FPC02 .....	111
7.2.3	Teste funcional ao requisito FPC03 .....	112
7.2.4	Teste funcional ao requisito FPC04 .....	112

7.2.5	Teste funcional ao requisito FPC05 .....	113
7.2.6	Teste funcional ao requisito FP01 .....	114
7.2.7	Teste funcional ao requisito FP02 .....	114
7.2.8	Teste funcional ao requisito FA01 .....	115
7.2.9	Teste funcional ao requisito FPD01 .....	115
7.2.10	Teste funcional ao requisito FPD02 .....	115
7.2.11	Teste funcional ao requisito FPD03 .....	116
7.2.12	Teste funcional ao requisito FPD04 .....	116
7.2.13	Teste funcional ao requisito FPD05 .....	117
7.2.14	Teste funcional ao requisito FM01 .....	117
7.2.15	Teste funcional ao requisito FC01 .....	117
7.2.16	Teste funcional ao requisito FC02 .....	118
7.2.17	Teste funcional ao requisito FC03 .....	118
7.2.18	Teste funcional ao requisito AV01 .....	119
7.3	Questionário .....	119
7.3.1	Avaliação à existência de dados sensíveis .....	120
7.3.2	Avaliação à facilidade de utilização .....	120
7.3.3	Avaliação à interface gráfica .....	121
7.3.4	Avaliação à existência de erros .....	121
7.3.5	Avaliação dos textos .....	122
7.3.6	Avaliação do feedback .....	122
7.3.7	Avaliação do ecrã de medidas .....	123
7.3.8	Avaliação do ecrã da comparação .....	123
7.3.9	Análise dos comentários finais .....	124
7.4	Teste de hipóteses .....	124
7.4.1	Teste de hipóteses à circunferência .....	125
7.4.2	Teste de hipóteses à largura craniana .....	126
7.4.3	Teste de hipóteses ao comprimento craniano .....	128
7.4.4	Teste de hipóteses ao índice cefálico .....	129
7.4.5	Teste de hipóteses à diferença das diagonais .....	131
7.4.6	Teste de hipóteses ao offset das orelhas .....	132
7.4.7	Teste de hipóteses ao índice de assimetria cranial anterior .....	134
7.4.8	Teste de hipóteses ao índice de assimetria cranial posterior .....	135
<b>Capítulo 8. Conclusões e trabalho futuro .....</b>		<b>139</b>
8.1	Objetivos realizados .....	139
8.2	Outros trabalhos realizados .....	140

8.3	Limitações e trabalho futuro .....	140
	<b>Referências.....</b>	<b>143</b>
	<b>Anexos.....</b>	<b>147</b>
	Anexo A - Artigo enviado na conferência HIS .....	149
	Anexo B - Artigo submetido na P. Porto Research Workshop .....	161
	Anexo C - Questionário .....	163



# Lista de Figuras

Figura 1 - Sistema de referência anatômico .....	36
Figura 2 -Representação da localização do <i>tragion</i> .....	37
Figura 3 – Representação da localização do <i>sellion</i> .....	37
Figura 4 – Esquema dos planos de medição.....	38
Figura 5 – Esquema da medição de distâncias para a circunferência craniana .....	40
Figura 6 – Esquema das diagonais.....	41
Figura 7 – Processo de inovação do produto .....	46
Figura 8 – New Concept Development Model .....	47
Figura 9 – Análise FOFA.....	48
Figura 10 – Fases do desenvolvimento da automatização da criação da ortótese.....	50
Figura 11 – Estrutura do quadro de modelo de negócio .....	51
Figura 12 – Flexicurve .....	57
Figura 13 – Logotipo do Unity .....	60
Figura 14 – Exemplo de editor de página web e código HTML.....	67
Figura 15 – Diagrama de casos de uso da solução 1.0.....	68
Figura 16 – Diagrama de sistema do caso de uso “Comparar cabeças” .....	71
Figura 17 - Diagrama de componentes da versão 1.0 da solução .....	71
Figura 18 – Mapa de navegação da versão 1.0 da solução.....	73
Figura 19 - Diagrama de componentes da versão 2.0 da solução .....	74
Figura 20 – Diagrama de casos de uso da Solução 2.0 .....	75
Figura 21 – Diagrama relacional.....	79
Figura 22 – Mapa de navegação da versão 2.0 da solução.....	80
Figura 23 - Nuvens de pontos do <i>dataset 1</i> .....	81
Figura 24 – Nuvens de pontos do <i>dataset 2</i> .....	82
Figura 25 – Nuvem de pontos 10 do <i>dataset 3</i> .....	83
Figura 26 – Método CenterHead .....	86
Figura 27 – Método CalculateRotation (I) .....	87
Figura 28 - Método CalculateRotation (II) .....	87
Figura 29 - Método CalculateRotation (III) .....	88
Figura 30 - Método CalculateRotation (IV).....	88



Figura 31 – Excerto do script layers_3_4_5_hausdorff.r .....	89
Figura 32 – Método RunProcess da classe StartComparation (I) .....	90
Figura 33 - Método RunProcess da classe StartComparation (II) .....	90
Figura 34 - Interface gráfica na 1ª <i>milestone</i> .....	91
Figura 35 - Interface gráfica na 2ª <i>milestone</i> .....	92
Figura 36 - Interface gráfica na 3ª <i>milestone</i> .....	93
Figura 37 – Exemplo de documento médico com medições da cabeça .....	93
Figura 38 - Interface gráfica na 4ª <i>milestone</i> .....	94
Figura 39 - Interface gráfica na 5ª <i>milestone</i> (I) .....	95
Figura 40 - Interface gráfica na 5ª <i>milestone</i> (II) .....	95
Figura 41 – Interface gráfica na 6ª <i>milestone</i> .....	96
Figura 42 – Interface gráfica do ecrã do menu na 7ª <i>milestone</i> .....	96
Figura 43 – Interface gráfica do ecrã das medições na 7ª <i>milestone</i> .....	97
Figura 44 – Interface gráfica do ecrã das comparações na 7ª <i>milestone</i> .....	97
Figura 45 – Interface gráfica do ecrã de login na 8ª <i>milestone</i> .....	98
Figura 46 – Interface gráfica do ecrã principal na 8ª <i>milestone</i> .....	99
Figura 47 – Interface gráfica da janela de diálogo de filtrar na 8ª <i>milestone</i> .....	99
Figura 48 – Interface gráfica do ecrã de visualização da nuvem de pontos na 8ª <i>milestone</i> ..	100
Figura 49 – Interface gráfica do ecrã de importação na 8ª <i>milestone</i> .....	100
Figura 50 – Interface gráfica do ecrã de comparação na 8ª <i>milestone</i> .....	101
Figura 51 – Interface gráfica do ecrã de login na 9ª <i>milestone</i> .....	102
Figura 52 – Interface gráfica das definições na 9ª <i>milestone</i> (I) .....	102
Figura 53 - Interface gráfica das definições na 9ª <i>milestone</i> (II) .....	103
Figura 54 – Gráfico de barras da privacidade do paciente na aplicação .....	120
Figura 54 – Gráfico de barras de facilidade de utilização .....	120
Figura 55 – Gráfico circular sobre a dimensão dos elementos do ecrã .....	121
Figura 56 – Gráfico circular da existência de erros .....	121
Figura 57 – Gráfico circular sobre mensagens incorretas ou ofensivas .....	122
Figura 58 – Diagrama de barras sobre a qualidade de feedback .....	122
Figura 59 – Gráfico de barras sobre o ecrã das medidas .....	123
Figura 60 – Gráfico de barras sobre o ecrã de comparação .....	123

# Lista de Equações

Equação 1 – Fórmula da Circunferência Craniana.....	39
Equação 2 – Fórmula do índice cefálico .....	40
Equação 3 – Fórmula da diferença das diagonais.....	40
Equação 4 – Fórmula do índice de assimetria posterior cranial .....	41
Equação 5 – Fórmula do índice de assimetria anterior cranial.....	42
Equação 6 – Fórmula do volume de um tetraedro.....	42
Equação 7 – Fórmula do <i>offset</i> das orelhas.....	42
Equação 8 – Fórmula do valor .....	44
Equação 9 – Fórmula do valor de mercado .....	44
Equação 10 – Equação da hipótese nula .....	124
Equação 11 – Equação da hipótese alternativa.....	124



# Lista de Tabelas

Tabela 1 – Perspetiva longitudinal do valor .....	45
Tabela 2 – Quadro de modelo de negócio da SmartOrthosis .....	51
Tabela 3 – Métodos do backend .....	103
Tabela 4 – Dimensão “Funcionalidade” do QEF .....	108
Tabela 5 – Dimensão “Adaptabilidade” do QEF .....	110
Tabela 6 – Dimensão “Usabilidade” do QEF .....	110
Tabela 7 – Teste funcional ao requisito FPC01 .....	111
Tabela 8 – Teste funcional ao requisito FPC02 .....	112
Tabela 9 – Teste funcional ao requisito FPC03 .....	112
Tabela 10 – Teste funcional ao requisito FPC04 .....	113
Tabela 11 – Teste funcional ao requisito FPC05 .....	113
Tabela 12 – Teste funcional ao requisito FP01 .....	114
Tabela 13 – Teste funcional ao requisito FP02 .....	114
Tabela 14 – Teste funcional ao requisito FA01 .....	115
Tabela 15 – Teste funcional ao requisito FPD01 .....	115
Tabela 16 – Teste funcional ao requisito FPD02 .....	116
Tabela 17 – Teste funcional ao requisito FPD03 .....	116
Tabela 18 – Teste funcional ao requisito FPD04 .....	116
Tabela 19 – Teste funcional ao requisito FPD05 .....	117
Tabela 20 – Teste funcional ao requisito FM01 .....	117
Tabela 21 – Teste funcional ao requisito FC01 .....	118
Tabela 22 – Teste funcional ao requisito FC02 .....	118
Tabela 23 – Teste funcional ao requisito FC03 .....	119
Tabela 24 – Teste funcional ao requisito AV01 .....	119
Tabela 25 – Medidas da circunferência .....	125
Tabela 26 – Medidas da largura craniana .....	126
Tabela 27 – Medidas do comprimento craniano .....	128
Tabela 28 – Medidas do índice cefálico .....	129
Tabela 29 – Medidas da diferença das diagonais .....	131
Tabela 30 – Medidas do offset das orelhas .....	133

Tabela 31 – Medidas do índice de assimetria cranial anterior .....	134
Tabela 32 – Medidas do índice de assimetria cranial posterior.....	136

# Acrónimos e Símbolos

## Lista de Acrónimos

<b>2AI</b>	<i>Applied Artificial Intelligence Laboratory</i>
<b>CINTESIS</b>	Centro de Investigação em Tecnologias e Serviços de Saúde
<b>FCT</b>	Fundação para a Ciência e a Tecnologia
<b>FEDER</b>	Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional
<b>FFE</b>	<i>Fuzzy Front End</i>
<b>FOFA</b>	Forças, Oportunidades, Fraquezas e Ameaças
<b>HIS</b>	<i>Hybrid Intelligent Systems</i>
<b>ICBAS</b>	Instituto Ciências Biomédicas Abel Salazar
<b>IPCA</b>	Instituto Politécnico do Cavado e do Ave
<b>ISEP</b>	Instituto Superior de Engenharia do Porto
<b>LAMU</b>	Laboratório de Multimédia do Departamento de Engenharia Informática do ISEP
<b>NCD</b>	<i>New Concept Development</i>
<b>NPD</b>	<i>New Product Development</i>
<b>PLY</b>	<i>Polygon File Format</i>
<b>REST</b>	<i>Representational State Transfer</i>
<b>QEF</b>	<i>Qualitative Evaluation Framework</i>
<b>SGBD</b>	Sistema de Gestão de Base de Dados
<b>TMDEI</b>	Tese / Dissertação / Estágio



# Glossário

## Lista de Termos

- Fontanela** Denominada popularmente por moleira, consiste no espaço macio que separa os ossos do crânio de recém-nascidos
- Nuvem de Pontos** Conjunto de pontos expresso no mesmo sistema de coordenadas, geralmente com informação da superfície externa de um objeto físico
- Sellion** Ponto médio dos cantos dos olhos, localizado em cima da cana do nariz (cf. 2.2.2, para mais detalhes)
- Tragion** Ponto acima da cartilagem à frente da orelha (cf. 2.2.1, para mais detalhes)





# Capítulo 1. Introdução

O presente capítulo irá apresentar, inicialmente, uma contextualização sobre a condição médica denominada plagiocefalia posicional, referindo as suas características, causas e o tratamento atualmente utilizado. A área da saúde é considerada uma das mais importantes na sociedade e como tal, exige uma pesquisa constante, com o objetivo de criar tratamentos mais eficazes ou aperfeiçoar tratamentos existentes.

De seguida, será apresentado o problema que se deseja resolver com este projeto, a falta de precisão do tratamento e ineficiência na criação de ortóteses cranianas, levando a efeitos secundários no paciente.

Irão ser definidos os objetivos que a solução deve alcançar de forma a solucionar o problema. Neste caso será desenvolvida uma solução com interface gráfica capaz de a partir de nuvens de pontos obter os pontos e medidas necessárias para a criação de uma ortótese craniana.

Serão também definidos os resultados esperados para a solução, tendo em conta as limitações de software, e a abordagem utilizada de forma a atingir estes resultados.

Finalmente, será apresentada a estrutura do presente documento.

## 1.1 Contextualização

Este documento irá documentar todo o desenvolvimento do projeto realizado no âmbito da unidade curricular Tese/Dissertação/Estágio (TMDEI) do Mestrado de Engenharia Informática no ramo de Sistemas Gráficos e Multimédia no ano letivo 2018/2019.

A oportunidade de desenvolvimento deste projeto surgiu de uma parceria entre os centros de investigação *Applied Artificial Intelligence Laboratory* (2AI) do Instituto Politécnico do Cávado e do Ave (IPCA) e Laboratório de Multimédia (LAMU) do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP). Este projeto foi financiado pelos programas NORTE2020 e Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER).

O projeto foi dividido em 3 fases, com este documento desenvolvido no âmbito da primeira fase. A primeira fase teve como objetivo o desenvolvimento de uma solução com uma interface gráfica capaz de detetar automaticamente, numa nuvem de pontos, os principais pontos de referência necessários para extração de medidas clínicas. As medidas clínicas obtidas serão posteriormente usadas para a definição de uma ortótese craniana para o tratamento da plagiocefalia posicional. Por este motivo, nesta dissertação iremos abordar a plagiocefalia posicional e a automatização do processo do tratamento da mesma.

As nuvens de pontos são conjuntos de pontos no espaço, representados em um sistemas de coordenadas. Eles são produzidos através de *scanners* 3D, que medem uma grande quantidade de pontos na superfície externa do objeto físico [1]. Elas podem ser usadas para recriar a superfície para posteriormente serem usadas em diversas áreas, nomeadamente imagiologia médica e impressão 3D.

Quando existe diversas nuvens de pontos parciais de um objeto (devido ao objeto ser de grandes dimensões ou ser complicado capturar o objeto todo em uma passagem), é necessário alinhá-las para formar uma nuvem de pontos representativa da totalidade do objeto. Este processo é denominado *Point Set Registration* [2]. Este processo consiste em alinhar as múltiplas nuvens de pontos em um modelo consistente global, e posteriormente juntá-las através de comparações. No caso deste projeto não foi necessário devido aos *datasets* recebidos terem as nuvens de pontos com a totalidade da cabeça do bebé.

A plagiocefalia posicional é uma condição caracterizada por uma distorção assimétrica do crânio, normalmente havendo uma zona que sofreu um achatamento. O paciente pode também

apresentar uma orelha mais posterior que a outra. A condição ocorre quando o bebê sofre alguma restrição intrauterina ou um torcicolo, fazendo com que o bebê coloque a sua cabeça sempre na mesma posição [3], [4].

Em casos pouco graves, ela pode ser corrigida com o simples posicionamento da cabeça do bebê enquanto ele dorme. Em casos severos, é necessário que o bebê use uma ortótese craniana.

A ortótese craniana irá premir gentilmente o crânio, de forma a que a cabeça cresça com uma forma normal. Este tratamento deve ser realizado o mais cedo possível, antes que as fontanelas fechem e o crânio fique fundido. Tendo por isso resultados melhores quando aplicados em bebês mais novos que 6 meses [5].

## **1.2 Problema**

A plagiocefalia posicional está documentada na literatura desde 1992 [6]. Em Abril de 1992, a Academia Americana de Pediatria recomendou que os bebês devem dormir na posição de supina (“barriga para cima”), dado que isso reduziu os casos de morte súbita do lactente em 40% [7]. Esta recomendação teve como consequência um aumento da incidência de plagiocefalia posicional e em 2013 descobriu-se que 46.6% de bebês com 7 a 12 semanas tinham plagiocefalia posicional em algum grau [8].

Atualmente, o tratamento mais utilizado para o tratamento de plagiocefalia posicional é a utilização de uma ortótese craniana. A ortótese craniana é criada em empresas externas ao ambiente clínico ou hospitalar a partir das medidas que os médicos tiraram manualmente.

A ortótese é depois ajustada à cabeça do bebê. Este método é relativamente ineficiente e propenso a erros, podendo causar efeitos colaterais, tais como lesões na pele, perda de cabelo e desconforto [9]. De forma a corrigir estas desvantagens, será automatizada a criação da ortótese e adicionados sensores para monitorizar o estado do paciente.

### **1.3 Objetivos e contributos esperados**

O objetivo final do projeto é permitir a automatização do processo de criação de ortóteses para a plagiocefalia posicional, de forma a tornar o processo mais rigoroso e eficiente. Para isso, numa primeira fase, será desenvolvida uma solução com um interface adequado às necessidades da mesma, para obtenção de medidas necessárias para a equipa médica e demais parceiros.

A solução após conseguir interpretar nuvens de pontos de cabeças de bebés, que foram capturadas através de um scanner 3D, de forma a obter as medidas e os pontos necessários para a definição da ortótese, deve apresentá-los ao utilizador.

Como referido, o principal objetivo é o de criar uma interface onde seja possível proporcionar ao utilizador a possibilidade de visualizar as nuvens de pontos das cabeças dos bebés.

Pretende-se ainda proporcionar a identificação de mecanismos com potencial para proporcionar a disponibilização visual de diversos pontos e a obtenção de medidas de referência obtidas a partir da nuvem de pontos.

Espera-se que no final seja desenvolvida uma solução com uma interface capaz de contribuir para automatização do processo de criação de uma ortótese para plagiocefalia posicional.

O utilizador deverá poder realizar a gestão dos pacientes e suas nuvens de pontos podendo verificar a evolução de um paciente, visualizando as suas medidas e o formato da cabeça.

O processo de importação das nuvens de pontos deverá ser o mais automático possível, mas permitindo ao utilizador realizar alguma correção caso ocorram erros.

A transformação visual dos resultados obtidos pela nuvem de pontos proveniente de exames médicos e a visualização de elementos adicionais de acordo com as necessidades evidenciadas é um dos resultados esperados após o presente estudo.

### **1.4 Análise de valor**

O principal objetivo da área da saúde é fornecer cuidados médicos de qualidade para toda a população. De forma a cumprir este objetivo são constantemente investigados novos métodos

de tratamento, permitindo aumentar a eficiência e eficácia dos tratamentos ou diminuir os custos.

A análise de valor teve como base o processo de inovação *Fuzzy Front End (FFE)* e o *New Concept Development (NCD)*. Através do “Quadro de Modelo de Negócio”, foram definidos os diversos componentes que interagem no negócio, como os parceiros chave, atividades chave e segmentos de mercado.

Tratando-se de um contributo para algo relacionado com a área da saúde, o sucesso deste trabalho representará certamente uma enorme mais valia para todos aqueles que direta ou indiretamente são afetados por esta patologia.

## **1.5 Estrutura do documento**

Este documento encontra-se dividido em 8 capítulos.

Neste primeiro capítulo, a “Introdução”, é realizada inicialmente uma contextualização do tema onde se apresenta o âmbito do estudo e se refere que se enquadra num projeto foi financiado pelos programas NORTE2020 e pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER).

Apresenta-se o problema em estudo e apresentam-se os objetivos do presente trabalho e os resultados esperados. Faz-me uma breve análise de valor e termina-se o capítulo com a estrutura do presente documento.

O segundo capítulo, o “Contexto”, são explicados os conceitos que terão de ser usados para a resolução do problema. Inicia-se o capítulo com uma análise relacionada com o reconhecimento de referências anatómicas e exploram-se o tipo de medidas que serão necessárias para visualizar na interface a desenvolver.

No terceiro capítulo, é realizada uma análise do valor à presente solução e são destacados o processo de inovação, que o produto trará aos clientes e explorado o quadro de modelo de negócio.

O quarto capítulo, o “Estado da Arte e Contextualização Tecnológica”, apresenta-se inicialmente uma reflexão e um estudo onde são descritos os métodos clássicos de medição atualmente usados para obter as medidas necessárias para o diagnóstico e tratamento de

plagiocefalia posicional. Neste capítulo são ainda abordados os sistemas de medição automática. Numa última parte é realizada e apresentada uma contextualização das tecnologias usadas e os motivos da sua escolha.

No quinto capítulo, apresenta-se o “Design da Solução”. Neste capítulo detalha-se o desenho da solução, expondo os pormenores da arquitetura e da interface, de forma a clarificar o sistema a desenvolver e exploram-se as diferentes versões da mesma.

No sexto capítulo apresenta-se a “Implementação da Solução”. Neste capítulo é descrita a implementação da solução, usando o design descrito anteriormente. É analisada a centralização, a orientação e a comparação de nuvens de pontos (de cabeças) e apresenta-se a evolução da presente interface gráfica. Termina-se o capítulo com a apresentação do *Backend* da solução.

O sétimo capítulo descreve como a solução foi avaliada, segundo as suas funcionalidades no sentido de aferir a satisfação do cliente. Para além de uma análise QEF são apresentados os testes funcionais para cada um dos principais requisitos. Esta avaliação permitiu verificar a todo o momento o estado da solução.

Por último, apresenta-se o capítulo “Conclusões e Trabalho Futuro”, onde é realizada uma introspeção e descrição relacionada com os objetivos realizados e outros trabalhos que foram realizados no contexto do projeto. Também serão discutidas as limitações da solução e o trabalho futuro.

## **Capítulo 2. Contexto**

Neste capítulo serão abordados os conceitos mais importantes relacionados com o diagnóstico de plagiocefalia posicional, nomeadamente as referências anatómicas e medições do crânio.

Ele inicia-se com uma breve introdução, seguido de uma análise relacionada com o reconhecimento de referências anatómicas e com as medidas necessárias para suportar o estudo.

### **2.1 Introdução**

Após uma fase inicial de estudo para perceber o problema, e depois de clarificar em diversas reuniões o que deveria ser feito na primeira fase do projeto, identificamos que era necessário compreender claramente alguns aspetos, como por exemplo o reconhecimento de referências anatómicas ou aspetos relacionados com a obtenção das medidas em nuvens de pontos.

Uma das primeiras etapas pretendeu clarificar alguns destes aspetos e apresentam-se nos tópicos seguintes.



## 2.2 Reconhecimento de referências anatômicas

Normalmente nos exames médicos relacionados com a cabeça é necessário realizar um conjunto de medições de forma a obter dados úteis para a realização de um bom diagnóstico.

No caso da cabeça, existem inúmeras medidas como que podem fornecer indicações diversas relacionadas com aspetos como por exemplo assimetrias cranianas, suturas e fontanelas.

A fontanela anterior (bregma) tem a forma de losango, com tamanho variando entre 1 e 3 cm. O fechamento da fontanela anterior é muito variável e ocorre entre 8 e 18 meses de idade. A fontanela posterior (lambdoide) nem sempre pode ser palpada no recém-nascido. Tem em média 1 cm e seu fechamento ocorre no primeiro mês de vida [10].

No entanto, focalizamos a nossa atenção para a utilização de medidas anatômicas focalizadas na patologia em estudo.

Foi nesta fase importante perceber que seria necessário reconhecer determinados pontos da cabeça do bebé.

Após algumas reuniões com médicos que integravam a equipa do projeto, foi possível perceber que seria necessário definir um sistema de coordenadas a partir de uma série de pontos específicos denominados *tragions* e *sellion* conforme se apresentam na Figura 1.

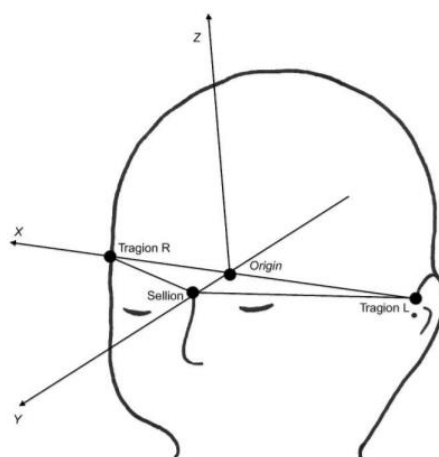


Figura 1 - Sistema de referência anatômico<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Imagem disponível em 'Comparison of infant head shape changes in deformational plagiocephaly following treatment with a cranial remolding orthosis using a noninvasive laser shape digitizer' [11]

### 2.2.1 O tragion

O *tragion* é um ponto em profundidade que se encontra acima do *tragus*. O *tragus* é um pequeno pedaço de cartilagem existente na parte frontal da orelha [12]. Podemos visualizar a localização exata na Figura 2.

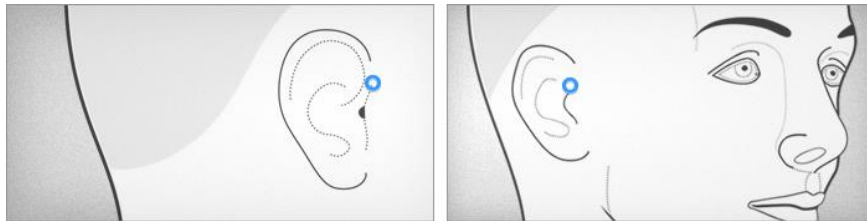


Figura 2 -Representação da localização do *tragion*<sup>2</sup>

### 2.2.2 O sellion

O *sellion* ou *radix* é o ponto mais profundo do ângulo frontal do nariz, localiza-se na interseção do declive da testa com a cana do nariz. É o equivalente em tecido mole do *nasion* [14]. Ele também pode ser considerado como o ponto “médio”, devido a localizar-se praticamente entre os olhos [15]. Na Figura 3 está representada a posição do *sellion*.

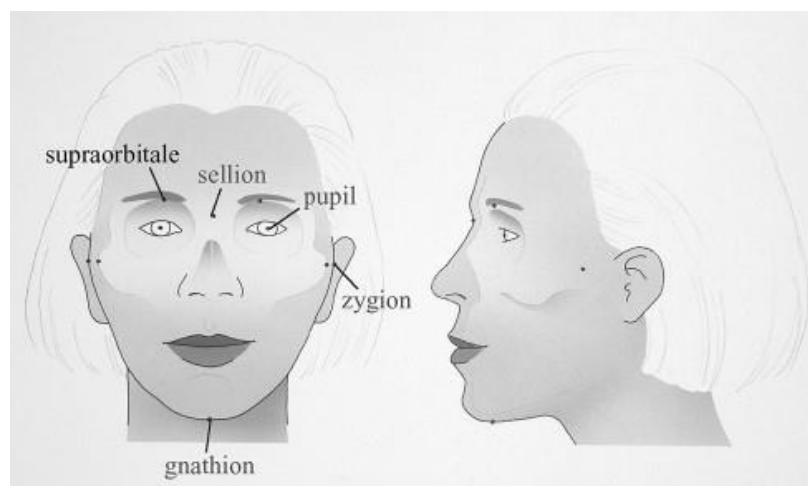


Figura 3 – Representação da localização do *sellion*<sup>3</sup>

<sup>2</sup> Imagem disponível em ‘3D Facial Norms Technical Notes | FaceBase’ [13]

<sup>3</sup> Imagem disponível em ‘Reliability of clinical measurements used in the determination of facial indices’ [16]

## 2.3 Medidas anatómicas da cabeça

Como referido, outro dos aspetos fundamentais que necessitaríamos para desenvolver a interface relacionava-se com a obtenção das medidas anatómicas da cabeça que deveriam ser obtidas de acordo com alguns planos.

### 2.3.1 Os planos de medição

São definidos treze planos principais de medição: o plano base (0), dois planos abaixo do plano base e dez planos acima do plano base, conforme é possível visualizar na Figura 4.

O plano base é definido através dos *tragions* e do *sellion*. O plano 10 é o plano paralelo ao plano 0 que contém o ponto do topo da cabeça. Os restantes planos são calculados através da divisão da distância entre o plano 0 e o plano 10 [17].

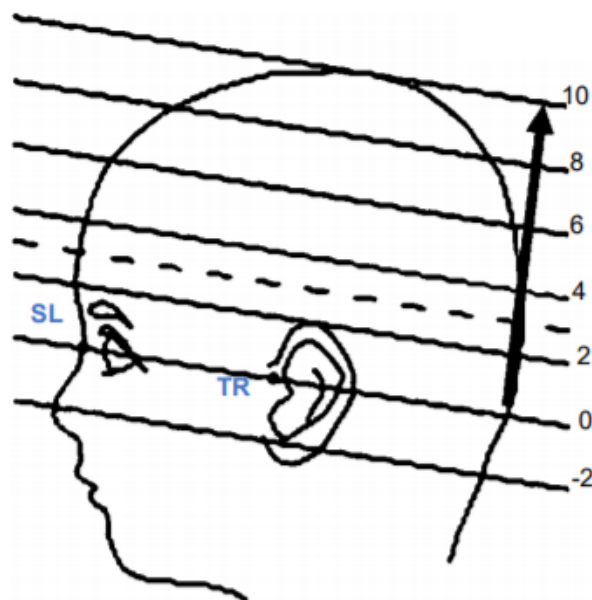


Figura 4 – Esquema dos planos de medição<sup>4</sup>

<sup>4</sup> Imagem disponível em 'Development/global validation of a 6-month-old pediatric head finite element model and application in investigation of drop-induced infant head injury' [18]

### 2.3.2 O comprimento craniano

Uma das medidas identificada como necessária é o comprimento craniano. Ele é medido no plano de medição 3 da nuvem de pontos. É calculado através dos pontos com menor e maior valor na coordenada X [19].

### 2.3.3 A largura craniana

Outra das medidas identificadas é a largura craniana que é medida no plano de medição 3 da nuvem de pontos.

A Largura craniana é calculada através dos pontos com menor e maior valor na coordenada Z [19].

### 2.3.4 A circunferência craniana

Seria ainda necessário obter a circunferência craniana que é calculada através do somatório das distâncias entre pontos do plano 3 [20], [21], conforme se apresenta na fórmula da Equação 1 apresentada abaixo.

$$\text{Circunferência Craniana} = \sum \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (z_1 - z_2)^2}$$

Equação 1 – Fórmula da Circunferência Craniana

Na Figura 5, apresenta-se a forma de como seria o resultado do esquema de medição de distâncias para a circunferência craniana.

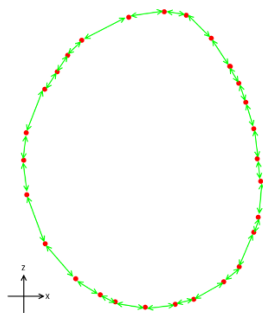


Figura 5 – Esquema da medição de distâncias para a circunferência craniana

### 2.3.5 O índice cefálico

A quarta medida identificada foi o índice cefálico que é o rácio da largura craniana com o comprimento craniano [22], e cuja fórmula se apresenta abaixo na Equação 2.

$$\text{Índice Cefálico} = \frac{\text{largura craniana} * 100}{\text{comprimento craniano}} \%$$

Equação 2 – Fórmula do índice cefálico

### 2.3.6 A diferença das diagonais

De acordo com os clínicos com quem reunimos, seria ainda necessário obter a diferença das diagonais, que é calculada através da diferença distâncias das diagonais no plano 3 [23] tal como se apresenta na Equação 3.

$$\text{Diferença das diagonais} = |\text{diagonal}_1 - \text{diagonal}_2| \text{ cm}$$

Equação 3 – Fórmula da diferença das diagonais

Na Figura 6, apresenta-se a forma de como seria apresentado na interface a desenvolver o esquema das diagonais.

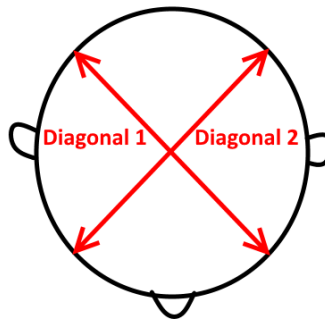


Figura 6 – Esquema das diagonais

### 2.3.7 O índice de assimetria posterior cranial

Seria ainda necessário obter o índice de assimetria posterior cranial que é calculado através dos volumes dos quadrantes da parte de trás da cabeça [18] como se apresenta na Equação 4.

$$\text{Índice de Assimetria Posterior Cranial} = \frac{(l - s) * 100}{s} \%$$

onde M é o maior quadrante posterior e o m é o menor quadrante posterior

Equação 4 – Fórmula do índice de assimetria posterior cranial

Para calcular o volume de um quadrante da cabeça foram usados tetraedros compostos pelos triângulos da nuvem de pontos e o centro da cabeça, usando a fórmula descrita na 6.

### 2.3.8 O índice de assimetria anterior cranial

Finalmente verificou-se ser imprescindível conhecer índice de assimetria anterior cranial que é calculado através dos volumes dos quadrantes da frente da cabeça de acordo com o Equação 5.

$$\text{Índice de Assimetria Anterior Cranial} = \frac{(M - m) * 100}{m} \%$$

onde M é o maior quadrante anterior e o m é o menor quadrante anterior

Equação 5 – Fórmula do índice de assimetria anterior cranial

Para calcular o volume de um quadrante da cabeça foram usados tetraedros compostos pelos triângulos da nuvem de pontos e o centro da cabeça como se apresenta na Equação 6.

$$\text{Volume}_{\text{tetraedro}} = \frac{|(a - d) \cdot ((b - d) \times (c - d))|}{6} \text{ cm}^3$$

Equação 6 – Fórmula do volume de um tetraedro

### 2.3.9 O offset das orelhas

Considerou-se que também que seria fundamental identificar o offset das orelhas que é calculado através da diferença entre a coordenada Z dos *tragions* mediante a fórmula obtida na Equação 7.

$$\text{Offset das Orelhas} = |\text{tragiumEsquerdo}_z - \text{tragiumDireito}_z|$$

Equação 7 – Fórmula do *offset* das orelhas

## **Capítulo 3. Análise de valor**

Este capítulo relaciona-se com a Análise de Valor e inicia-se com uma contextualização relacionada com o tema.

Posteriormente é realizada uma análise aprofundada utilizando o processo de inovação idealizado por Peter Koen e termina-se o capítulo com a apresentação do “Quadro de Modelo de Negócio”.

### **3.1 Contextualização**

Um produto necessita cumprir as necessidades do cliente. Estas necessidades serão convertidas em funções que o produto terá de ter. De forma a satisfazer ao máximo as necessidades do cliente é necessário realizar uma análise de valor.

A análise de valor é um processo sistemático, formal e organizado de análise e avaliação. Ele tem como objetivo estudar como aumentar o valor de um produto ao menor custo, sem sacrificar qualidade, confiabilidade, desempenho e aspeto [24].

O valor pode ser calculado através da seguinte fórmula:



$$\text{Valor} = \frac{\text{Benefícios}}{\text{Custo}}$$

Equação 8 – Fórmula do valor

Ou seja, para aumentar o valor é necessário diminuir custos mantendo os benefícios existentes ou melhorar os benefícios mantendo os custos.

O valor de um produto é avaliado na análise de valor através de duas perspetivas. Estas perspetivas são:

- **Valor Utilitário:** Dada pela funcionalidade e utilidade do produto;
- **Valor para o Cliente:** É o valor que o cliente dá aos atributos do produto que não contribuem diretamente para a utilidade do produto como o aspeto gráfico da aplicação.

Com estas duas perspetivas é possível calcular o **Valor de Mercado** para o produto.

$$\text{Valor de Mercado} = \text{Valor Utilitário} + \text{Valor para o Cliente}$$

Equação 9 – Fórmula do valor de mercado

Através das definições de valor e fórmulas mencionadas anteriormente, pode-se então concordar que valor é traduzido no equilíbrio entre a satisfação do cliente e o preço. O conceito de valor vai de encontro ao princípio em que o consumidor procura sempre o melhor produto ao menor preço.

Muitas vezes o cliente não tem a perceção de todos benefícios que um produto ou serviço pode trazer, por isso é normal que a perceção do valor não corresponder à realidade do produto.

De forma a informar o cliente do valor de um produto antes de o utilizar, muitas empresas usam marketing. O marketing servirá então não só para divulgar o produto, como também para informar sobre as características do mesmo, aumentando a perceção de valor relativo ao produto.

Usando a Equação 8, podemos dizer que se o valor for superior a 1, o produto tem um valor justo ou bom. Ou seja, quando os benefícios são superiores aos custos, traduzindo-se num bom investimento para o cliente.

Quando o valor é inferior a 1, ele tem um valor baixo. Ou seja, os custos são superiores aos benefícios, levando o cliente a considerar um mau investimento.

De forma a analisar melhor o valor percebido pelo cliente, Woodall formulou uma metodologia, a perspetiva longitudinal de valor [25]. Esta perspetiva é dividida em quatro momentos. Cada momento contribui para o valor geral que o cliente atribui ao produto. Os quatro momentos são:

1. Ex Ante (Antes da compra);
2. Transação (Momento da compra);
3. Ex Post (Depois da compra);
4. Descarte (Depois do uso)

Na

Tabela 1 pode-se observar a perspetiva longitudinal do valor do SmartOrthosis.

Tabela 1 – Perspetiva longitudinal do valor

	Benefícios	Sacrifícios
Ex Ante	Espera que a solução seja capaz de automatizar a criação das ortóteses	Necessidade de entender o básico da tecnologia de forma a entender as suas vantagens
Transação	Compra de uma boa solução adequada às suas necessidades	Custos relacionados em aprender e perceber o funcionamento da solução
Ex Post	Compreensão total da solução	
Descarte	Capacidade de adaptação até um método melhor apareça	

## 3.2 Processo de inovação

Apesar da inovação, em qualquer área, ser importante para o desenvolvimento de um produto com vantagens competitivas, acarreta diversos riscos.

De forma a mitigar os riscos, técnicas para o processo de inovação estão constantemente a serem desenvolvidas. Uma das mais utilizadas é o modelo de Peter Koen.

Peter Koen divide o processo de inovação em três fases distintas: *Fuzzy Front End* (FFE), *New Product Development* (NPD) e Comercialização. O modelo pode ser observado na Figura 7.

O FFE é caracterizado pela informalidade e pelas suas atividades imprevisíveis e com datas incertas. Na segunda fase existe um grau maior de formalização, sendo orientada a objetivos e mais rigorosa em termos temporais. A terceira fase é a comercialização do produto.

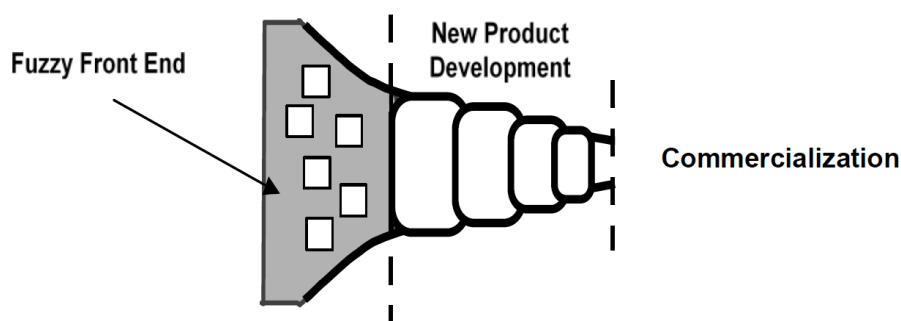


Figura 7 – Processo de inovação do produto<sup>5</sup>

De forma a dar ao FFE uma linguagem e vocabulário comum, foi desenvolvido em 2001 o *New Concept Development* (NCD).

O NCD é composto por três partes essenciais (ver Figura 8 ):

- **Engine:** que representa a liderança, a cultura e estratégia empresarial da organização;
- **Fatores influenciadores:** são os fatores externos que influenciam o engine e os elementos chave;
- **Elementos Chave:** nesta parte enquadra-se a identificação e análise da oportunidade, geração e análise da ideia, e conceito e desenvolvimento tecnológico; como é possível ver na Figura 8, é possível passar de um elemento para outro diversas vezes.

---

<sup>5</sup> Imagem disponível em 'Fuzzy front end: effective methods, tools, and techniques' [26]

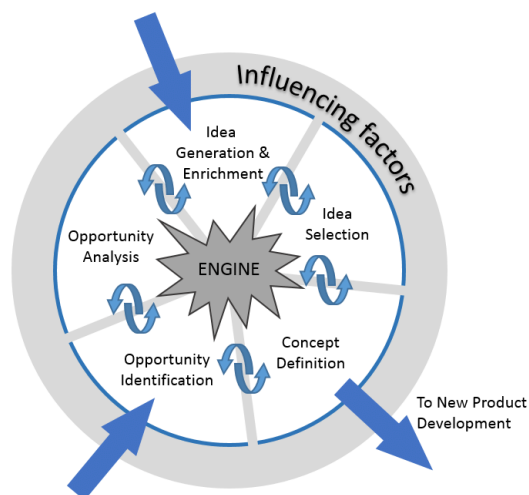


Figura 8 – New Concept Development Model <sup>6</sup>

### 3.2.1 Identificação da oportunidade

Neste elemento, são identificadas as oportunidades que se deseja usar a favor. De forma a tornar a identificação de oportunidades mais eficaz, existem diversos métodos que podem ser usados, como: análise das tendências do mercado, análise das tendências das tecnologias e *brainstorms*.

Enquadrando neste projeto, foi detetado que o processo da criação de ortóteses ainda é manual. Havendo assim uma oportunidade de automatizar esse processo, melhorando a eficácia e eficiência do tratamento.

### 3.2.2 Análise da oportunidade

As oportunidades detetadas anteriormente deverão ser analisadas e avaliadas para determinar a sua viabilidade, analisando as suas vantagens e desvantagens. De forma a realizar isso, foi usada a análise FOFA (Forças, Oportunidades, Fraquezas e Ameaças). A análise FOFA referente a este projeto pode ser consultada na Figura 9.

- **Forças** – Ao automatizar a criação das ortóteses de correção da plagiocefalia posicional iremos fornecer um melhor tratamento aos pacientes com a inclusão dos sensores que irão

<sup>6</sup> Imagem disponível em 'The New Concept Development (NCD)-model' [27]

monitorizar o estado do paciente e com a melhor adequação da ortótese à cabeça do mesmo; será também aumentada a eficiência e a eficácia do tratamento ao reduzir o tempo necessário para medição e criação da ortótese;

- **Fraquezas** – Mas esta solução acarreta custos de desenvolvimento e de compra de dispositivos; Além de necessitar de um período de adaptação à solução;
- **Oportunidades** – Esta solução permite aplicar novas tecnologias que possuem imenso potencial futuro, fornecendo dados para a Medicina progredir;
- **Ameaças** – A situação económica atual no setor da saúde está bastante má, com os diversos cortes realizados em 2018 [28]–[31] que são demonstradas pelas greves e reivindicações efetuadas por médicos e enfermeiros [32], [33].



Figura 9 – Análise FOFA

### 3.2.3 Geração de ideias

Este elemento consiste em utilizar a oportunidade anteriormente detetada e formular ideias concretas até chegar a um nível de detalhe capaz de ser executado.

Através de um brainstorming foi desenvolvida a ideia de automatizar o processo desde a medição até à criação de uma ortótese com diversas tecnologias para monitorizar o estado do paciente.

### **3.2.4 Seleção de ideias**

Na maioria dos negócios diversas ideias são geradas, fazendo com que seja crítico selecionar as ideias que tragam o máximo de valor ao negócio.

As ideias que foram geradas foram filtradas de forma a obter um produto que cumpra os requisitos e que seja o mais confortável quer para o paciente como para o utilizador do sistema.

### **3.2.5 Conceito e desenvolvimento tecnológico**

O último elemento do modelo consiste no desenvolvimento do negócio utilizando as ideias anteriormente selecionadas. Devido à não-linearidade do modelo, este elemento pode ser o primeiro elemento.

De forma a desenvolver o produto final, o desenvolvimento foi dividido em três fases (ver Figura 10):

- **Análise automática antropométrica:** a fase que será o foco deste documento, esta fase é responsável pelo tratamento das nuvens de pontos, de forma a obter as medidas necessárias;
- **Design automático da ortótese cranial:** esta fase será responsável pela criação do modelo 3D da ortótese cranial, utilizando as medidas obtidas anteriormente;
- **Prototipagem da ortótese cranial:** encarregue de criar o protótipo da ortótese, utilizando o modelo 3D obtido anteriormente, será também estudado os materiais e sensores necessários.

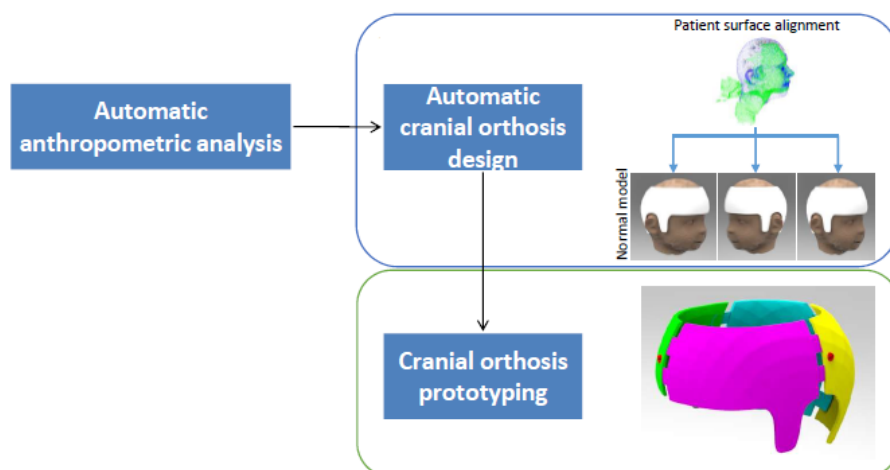


Figura 10 – Fases do desenvolvimento da automatização da criação da ortótese

### 3.3 Quadro de modelo de negócio

O quadro de modelo de negócio, ou em inglês *“business model canvas”*, é uma ferramenta de gestão estratégica bastante usada para representar o modelo de negócio de uma empresa [34].

Esta ferramenta representa o modelo de negócio em 9 blocos:

- Parceiros Chave;
- Atividades Chave
- Recursos Chave;
- Proposta de Valor;
- Relação com os Clientes.

Estes blocos encontram-se interligados de diversas maneiras como é representado na disposição que se pode ver na Figura 11. A empresa deseja transmitir a proposta de valor ao segmento de clientes desejado, isto será explicado através da distribuição e do relacionamento com clientes. Do lado esquerdo temos as atividades chave e recursos chave, onde aparece também os parceiros chave que irão ajudar a empresa a entregar a sua proposta de valor. Na parte de baixo estão a estrutura de custos e as fontes de receita que suportam o negócio.

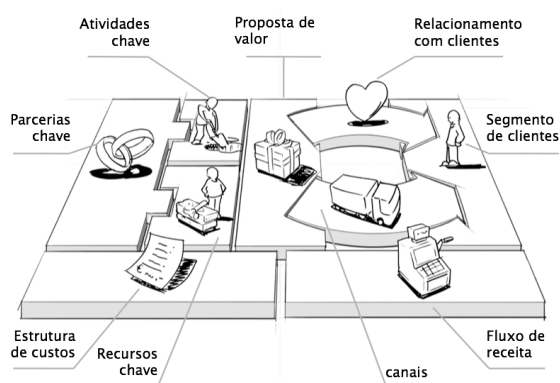


Figura 11 – Estrutura do quadro de modelo de negócio<sup>7</sup>

Na Tabela 2 está apresentado o quadro do modelo de negócio relativo ao SmartOrthosis.

Tabela 2 – Quadro de modelo de negócio da SmartOrthosis

<p><b><u>Parceiros chave</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fornecedores de scanners 3D;</li> </ul>	<p><b><u>Atividades chave</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Design;</li> <li>• Desenvolvimento;</li> </ul> <p><b><u>Recursos chave</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nuvens de pontos de cabeças;</li> <li>• Desenvolvedores;</li> <li>• Software de desenvolvimento;</li> <li>• Hardware;</li> </ul>	<p><b><u>Proposta de valor</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Automatização do processo de criação de uma ortótese;</li> </ul>	<p><b><u>Relação com os clientes</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pessoal</li> </ul> <p><b><u>Canais</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Telemóvel</li> <li>• Email;</li> <li>• Eventos e convenções;</li> </ul>	<p><b><u>Segmentos de mercado</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hospitais e faculdades de medicina;</li> </ul>
<p><b><u>Estrutura de custos</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Desenvolvimento da solução;</li> <li>• Manutenção do sistema;</li> <li>• Licenças de software;</li> </ul>		<p><b><u>Fontes de receita</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Licenciamento do produto;</li> </ul>		

<sup>7</sup> Imagem disponível em 'O que é o Business Model Canvas' [35]



### **3.3.1 Parceiros chave**

Os parceiros chave são entidades externas que executam atividades chave ou fornecem recursos chave para o negócio.

Os parceiros chave seriam os fabricantes de scanners 3D. Seria importante que os fabricantes permitissem a exportação das nuvens de pontos em um formato não-proprietário, de forma a ser possível analisar as nuvens e obter os dados necessários.

### **3.3.2 Atividades chave**

As atividades chave são as atividades que o negócio deve realizar de forma a funcionar corretamente e criar o valor proposto.

No caso deste projeto, as atividades chave são o design e a implementação do sistema a ser desenvolvido.

### **3.3.3 Recursos chave**

Os recursos chave são os recursos indispensáveis para a realização das atividades chave e para a criação do valor proposto.

De forma a executar as atividades anteriormente mencionadas são necessários diversos recursos, como nuvens de pontos para analisar, software para desenvolver, hardware para executar o software e desenvolvedores para desenvolver o sistema.

### **3.3.4 Proposta de valor**

A proposta de valor descreve o valor que o negócio irá disponibilizar ao segmento de mercado específico.

Neste caso, é proposto o desenvolvimento de uma solução para a automatização da criação da ortótese para a plagiocefalia posicional que permita automatizar o procedimento de avaliação e tratamento de plagiocefalia, aumentando assim o rigor e a eficiência dos mesmos.

### **3.3.5 Relação com os clientes**

Descreve como será feita a comunicação entre o negócio e os seus clientes.

Pretendemos estabelecer uma interação bastante pessoal com os clientes. Isso será feito através de contacto telefónico, correio eletrónico e através da deslocação ao cliente. Desta forma conseguiremos responder o mais célere possível ao cliente e fornecer formação para a utilização do sistema.

### **3.3.6 Canais**

Os canais descrevem como o produto irá chegar aos clientes;

Em termos de divulgação do produto, será feita em eventos e convenções na área. Será feita também através do contacto direto com diretores de hospitais.

Para a compra do produto pode ser feita por telemóvel, email ou pessoalmente.

### **3.3.7 Segmentos de mercado**

Os segmentos de mercado são os grupos de clientes a que o produto se destina. A proposta de valor e outros elementos serão desenvolvidos tendo em vista criar o máximo de valor para o segmento de mercado selecionado.

O SmartOrthosis destina-se a hospitais e a faculdades de medicina. Sendo os utilizadores finais médicos, e professores e alunos de medicina.

### **3.3.8 Estrutura de custos**

A estrutura de custos é o conjunto de custos necessários para desenvolver e manter o negócio.

Durante o desenvolvimento da solução irá existir custos com salários e outras despesas de pessoal, custos com o hardware.

Posteriormente irá ter custos relacionados com a manutenção do sistema e com licenças de software de terceiros.

Haverá outros custos que devem ser suportados para garantir o correto funcionamento das atividades.

### **3.3.9 Fontes de receita**

As fontes de receita descrevem de que maneira o negócio vai obter receita e gerar lucro.

Poderá ser realizada através do licenciamento do sistema, de formações e outros serviços que o cliente desejar.

## **Capítulo 4. Estado da arte e contextualização tecnológica**

Neste capítulo será realizada uma apresentação sobre o estado atual dos métodos de diagnóstico de plagiocefalia posicional, referindo os métodos clássicos de medição e alguns projetos que tencionam automatizar o diagnóstico. Finalmente será realizada uma discussão sobre as tecnologias a aplicar na solução e sua interface de suporte.

### **4.1 Introdução**

De forma a desenvolver uma solução com interface gráfica capaz de automatizar a detecção e diagnóstico de plagiocefalia posicional em bebês, foi necessário estudar os métodos utilizados atualmente e outros projetos que tencionavam automatizar os processos.

Posteriormente foi realizado uma análise das tecnologias existentes, de modo a determinar quais ferramentas são mais adequadas para a solução a desenvolver.

## 4.2 Métodos clássicos de medição

Os métodos descritos nesta secção são os métodos atualmente utilizados para o diagnóstico de plagiocefalia posicional. Todos estes métodos exigem intervenção humana, tornando estes métodos bastante suscetíveis a erro humano.

### 4.2.1 Verificação visual

Em 1998, Louis Argenta foi o primeiro a documentar a metodologia para a avaliação da deformação do crânio. Na sua avaliação, os pacientes eram observados em quatro posições: de cima, de frente, de trás e de lado. A partir das suas avaliações, ele desenvolveu um sistema de classificação de plagiocefalias posicionais [36].

Este método e sistema de classificação tem como vantagens ser facilmente reproduzível, barato e percebível pela família do paciente.

Os estudos de Spermon demonstraram que apesar de ter uma confiabilidade alta por médico, entre os médicos havia muitos desvios [37].

### 4.2.2 Medições usando compasso antropométrico

As medidas eram feitas usando um compasso antropométrico. Eram medidas o comprimento, a largura e as distâncias oblíquas. A circunferência também era medida. O valor de cada medida era comparado com valores de referência relacionados à idade e aos valores do indivíduo em medições anteriores.

Segundo os estudos de Wilbrand, este método apresenta uma confiabilidade alta tanto por médico como entre médicos [38].

### 4.2.3 Flexicurve

A *flexicurve* é uma régua moldável que permite medir comprimentos e visualizar a curvatura.

Para tirar as medidas, a flexicurve é colocada na cabeça da criança alinhada horizontalmente com o sellion e o ponto atrás da cabeça. Depois de moldar a flexicurve à cabeça da criança, ela

é retirada com cuidado e é desenhado em um papel o formato. Com estes dados é possível obter a circunferência da cabeça e as duas diagonais. Através destes dados, Leung calculava o índice de assimetria da abóbada craniana (CVAI).

Os estudos de Leung, demonstraram que esta técnica é uma forma confiável de medir CVAI e que o CVAI é uma ferramenta confiável para medir o grau de plagiocefalia [39].

Na Figura 12 é possível ver a *flexicurve*.



Figura 12 – Flexicurve <sup>8</sup>

#### 4.2.4 Tomografia computadorizada e radiografias

Através de tomografias computadorizadas e radiografias é possível construir um modelo 3D da cabeça do paciente, permitindo obter facilmente as medidas necessárias para o diagnóstico de plagiocefalia [41], [42].

### 4.3 Medição automática

Nos últimos anos existiram algumas tentativas em automatizar a obtenção das medidas craniais, sendo as mais relevantes o projeto de Kirk Smith, que pretendia criar valores normais para diversas medidas anatómicas da cabeça, e o projeto de Ricardo de Sousa.

---

<sup>8</sup> Imagem disponível em 'FLEXICURVE RULER' [40]

### 4.3.1 Projeto de Kirk Smith

Em 2015, foi desenvolvido, pela equipa de Kirk Smith, um software para automatizar a medição da circunferência cranial, o índice craniano e o volume da caixa craniana a partir de tomografias cranianas. Recolheram um *dataset* de tomografias de pessoas com 0 a 18 anos de idade, com o *nasion* e os pontos pré-auriculares definidos. O *dataset* também tinha uma resolução espacial superior a 1 ponto por 1.6mm, sem artefactos de movimento e foi excluído dados com algum tipo de deformação esquelética ou patologia [20].

Obtiveram sucesso relativo, conseguiram automatizar a medição, mas existiram casos em que algumas medidas falharam e colocaram muitas condições que colocam em causa a automação total.

### 4.3.2 Projeto de Ricardo de Sousa

O projeto estava inserido também no projeto SmartOrthosis, o seu objetivo era estudar métodos de analisar, a partir de nuvens de pontos, “as deformidades presentes na cabeça da criança, contribuir para o automatismo da modelação personalizada da ortótese” [43].

Neste projeto foi utilizado apenas o 1º *dataset* que foi obtido. Este *dataset* consiste em 10 nuvens de pontos de cabeças deformadas obtidas a partir de um conjunto de transformações aplicadas a uma nuvem de pontos de uma cabeça normal.

Foram atingidos resultados satisfatórios, mas devido ao número reduzido de nuvens de pontos, os resultados não são estatisticamente relevantes.

## 4.4 Conclusões sobre o estado da arte

Alguns dos métodos manuais de medição apresentam uma confiabilidade alta.

Existiram algumas tentativas de automatizar as medições, mas tinham muitas pré-condições e falhas, nomeadamente a definição prévia dos pontos de referência.

Devido a neste projeto existir diversas variáveis, como os dados virem desalinhados e/ou sem pontos de referência, trabalharmos com dados de cabeças com deformações esqueléticas, é

necessário na solução a desenvolver permitir ao utilizador facilmente visualizar e retificar qualquer falha que possa existir.

## 4.5 Análise e contextualização tecnológica

Nesta secção serão abordadas tecnologias que foram utilizadas ao longo do projeto.

### 4.5.1 Visualizador de nuvens de pontos: MeshLab

Foi utilizado o MeshLab para, numa fase inicial, visualizar as nuvens de pontos e obter algumas informações.

Foi também usado para retirar algumas informações desnecessárias (pescoços) em algumas das nuvens usadas.

### 4.5.2 Motor gráfico: Unity

Foi necessário escolher um motor gráfico adequado, de forma a permitir a apresentação da nuvem de pontos. Existem diversas alternativas:

- **Windows Forms com OpenGL:** Bastante poderosos e fáceis, mas comunicação entre eles complexa;
- **C++ com QT e OpenGL:** Bastante poderoso, mas utilização complexa;
- **Unity:** Permite facilmente criar ambientes 3D e 2D.

Foi selecionado o Unity, devido às suas capacidades e à familiaridade com a ferramenta.

O Unity é um motor de jogos e IDE criado pela Unity Technologies, desenvolvido em C++ e C# [44].

Ela facilita a criação de jogos e aplicações para diversos propósitos e plataformas, tendo como principal foco a criação de ambientes 2D e 3D. Ao contrário do OpenGL, o Unity possui um motor de *shaders* capaz de substituir facilmente *shaders* em tempo de execução. Aceita



linguagens de programação como o Javascript, C# e Boo Script. Neste caso foi escolhido o C#, devido à familiaridade com a linguagem.



Figura 13 – Logotipo do Unity <sup>9</sup>

### 4.5.3 Asp.Net Core

Para o desenvolvimento da aplicação servidora foi escolhida a *framework* Asp.Net Core. Ela foi escolhida pela sua facilidade de uso, estabilidade e à familiaridade com a *framework*.

O Asp.Net Core é uma *framework web* gratuita, *open-source* e multiplataforma desenvolvida pela Microsoft [46] que permite desenvolvimento de aplicações web e APIs REST.

Foram utilizadas algumas bibliotecas juntamente com o Asp.Net Core, nomeadamente o EntityFrameworkCore.PostgreSQL (responsável pelo mapeamento entre as classes da aplicação e as tabelas da base de dados PostgreSQL).

### 4.5.4 PostgreSQL

De forma a persistir os dados, foi necessário escolher um Sistema de Gestão de Base de Dados (SGBD). Para a solução desenvolvida foi escolhido o PostgreSQL, devido ao seu desempenho melhor em relação ao SQL Server [47], [48], cumprir com as normas ACID (Atomicidade, Consistência, Isolação e durabilidade) ao contrário de outros SGBD como o MySQL [49]. Outro motivo da escolha é do serviço Heroku ter um plano gratuito para base de dados de PostgreSQL.

O PostgreSQL é um SGBD *open-source* desenvolvido pela PostgreSQL Global Development Group [50]. Ela é considerada como um SGBD do tipo *object-relational*, visto ter todas as características de um SGBD relacional e incorporar mais quatro conceitos: classes, herança, tipos e funções [51].

---

<sup>9</sup> Imagem disponível em 'Products - Unity' [45]

#### **4.5.5 Linguagem de programação C#**

A linguagem de programação C# é uma linguagem de programação simples, interpretada, multiplataforma e *type-safe* (i.e. previne erros originados de tipos de dados primitivos) [52]. Ela suporta os paradigmas de programação imperativo, funcional, declarativo, orientado a objetos, orientado a componentes e programação genérica.

Quanto à sua origem, C# é baseado na família das linguagens C. Ela é bastante popular, tal como outras linguagens com a mesma base como o C++ e o Java.

#### **4.5.6 Linguagem de programação R**

R é uma linguagem de programação dedicada para cálculos estatísticos e gráficos. Ele é altamente expansível, graças às diversas bibliotecas existentes [53].

Ela foi utilizada para a implementação dos scripts com algoritmos de comparação de nuvem de pontos de cabeças.



## **Capítulo 5. Design da solução**

Este capítulo pretende esclarecer o design da solução. Numa primeira parte, será descrita a importância de um bom design de interfaces gráficas e que princípios devem ser utilizados de forma a obter uma boa usabilidade em uma interface gráfica.

Posteriormente, serão apresentadas as funcionalidades necessárias, a arquitetura da solução e a estrutura da interface que será fornecida ao utilizador. A solução foi desenvolvida iterativamente, podendo ser dividida em duas grandes fases: a versão 1.0 e a versão 2.0.

### **5.1 O design de interfaces gráficas**

De acordo com o autor Manuel Fonseca, as interfaces pessoa-máquina são uma das partes mais importantes de qualquer sistema, pois são a face de qualquer sistema, seja ela a interface do cockpit de um avançado avião ou um micro-ondas [54].

A usabilidade oferecida por estas interfaces pode fazer com que um produto seja um sucesso ou um fracasso. Devido a isso, é necessário utilizar técnicas de forma a obter um sistema fácil de aprender e rápido de usar.

A usabilidade pode ser definida como a efetividade, eficiência e satisfação que certos utilizadores obtêm ao cumprir os objetivos que estipularam [55].

Ao realizar um sistema com alta usabilidade, reduzimos custos possíveis na formação de novos utilizadores e tempo perdido pelo utilizador na “luta com o sistema” [56].

De acordo com Donald Norman [57], o utilizador passa por 7 fases quando necessita de realizar uma ação num sistema [58], sendo elas:

1. Estabelecer o objetivo: “Eu preciso de fazer alguma coisa em uma determinada aplicação”;
2. Estabelecer a intenção: “Eu tenho que abrir uma determinada aplicação”;
3. Especificar a ação: “Eu tenho que clicar no botão para abrir a aplicação”;
4. Executar a ação: “Eu clico no botão”;
5. Perceber o estado do sistema: “Reparar que o computador está a trabalhar”;
6. Interpretar o estado do sistema: “O computador está a abrir a aplicação”;
7. Avaliar semanticamente o resultado da interação: “A aplicação que queria está aberto”.

O objetivo de um bom design de interfaces é facilitar cada uma das fases, diminuindo ao máximo perdas de tempo na “luta com o sistema”.

De forma a facilitar o utilizador na 1ª fase, devemos contextualizar o utilizador no ponto de situação do sistema que ele está (por exemplo: ele está com o computador bloqueado e deseja abrir o seu navegador).

Para o utilizador conseguir realizar a 2ª fase, devemos apresentar claramente as ações que o utilizador pode realizar, tentando evitar que o utilizador esteja à procura da ação.

Na 3ª fase, deve ser claro a ação que o utilizador tem de realizar para cumprir o seu objetivo.

A 4ª fase é uma das fases mais importantes e por isso é necessário dar feedback imediato que a sua ação foi feita. No caso de cliques, geralmente, é dada por um feedback auditivo ou háptico.

Durante a 5ª fase, é essencial o utilizador visualizar que o computador está a processar a sua ação. Normalmente é efetuada através de ecrãs de *loading* e/ou com o cursor a ser substituído por um relógio ou ampulheta.

O utilizador na 6ª fase deve ser capaz de conseguir interpretar que os feedbacks obtidos na 5ª fase é da ação que ele acabou de realizar e não de outra ação.

Finalmente, na 7ª fase, o utilizador deverá visualizar que o seu objetivo foi cumprido.

### **5.1.1 Adequação da interface gráfica ao utilizador**

A interface gráfica deve ser desenvolvida do ponto de vista do utilizador do sistema. Por vezes o que é melhor para o utilizador não é o mais natural para o desenvolvedor da interface. Sendo por isso essencial haver comunicação entre o utilizador e o desenvolvedor.

Um dos pontos importantes de uma boa interface, é o utilizador sentir-se no controlo do sistema, evitando o utilizador sentir-se que está simplesmente a colocar dados no computador. Isto pode ser corrigido através das mensagens apresentadas. As mensagens devem conter pedidos em vez de comandos (“Por favor insira ...” em vez de “Insira ...”).

No desenho de uma interface gráfica devemos ter em conta a existência de diversos tipos de utilizadores. Existem pelo menos três tipos de utilizadores: utilizadores novatos, intermitentes e frequentes. É necessário ajustar a interface gráfica de forma a suprir as necessidades de todos os tipos de utilizadores.

Os utilizadores novatos são caracterizados por terem pouca ou nenhuma informação sobre o sistema. Devido a isso, as boas práticas ditam que se deve colocar as mensagens o mais simples possíveis, colocar as ações mais comuns o mais destacado possível e simplificar o máximo a interface (através por exemplo ícones).

Também é essencial existir um resumo de informações que permita ao utilizador novato começar o seu trabalho o mais rapidamente possível. Este resumo não deve exceder uma página.

Os utilizadores intermitentes mantêm conhecimento básico do sistema ao longo do tempo, mas não mantêm conhecimento avançado do sistema. Eles preferem ações simples e sequências de ações que façam sentido.

O utilizador frequente tem conhecimento avançado sobre o sistema e por isso deseja realizar as suas tarefas o mais rápido possível. Para proporcionar esse desejo, deve ser dada a possibilidade de acelerar ações através de *keybinds*, comandos ou outras técnicas. Estes utilizadores preferem mensagens de erros breves que possam ser vistas em detalhe se desejarem.

Uma interface gráfica ideal permite que todos os utilizadores utilizem, desde o utilizador novato, que necessita os controlos mais limitados de forma a evitar erros, até ao utilizador frequente que prefere a velocidade de keybinds e comandos que podem levar a erros caso seja usado por um novato.

Outro ponto essencial, é que a memória do ser humano não é infinita e infalível, sendo por isso preferível fazer o utilizador reconhecer as opções que necessita do que fazê-lo lembrar-se.

### **5.1.2 Padrões de design de interfaces gráficas**

Os padrões de design de interface gráficas definem um conjunto de princípios guiam o design de uma boa interface gráfica.

Existem diversos princípios básicos para manter uma boa usabilidade de uma interface gráfica, como a inércia na visualização.

Os ecrãs da interface devem mudar o menos possível entre si, os botões, texto e ícones devem estar localizados sempre nas mesmas posições, de forma a haver consistência. Alterações mínimas na posição dos objetos obriga ao utilizador adaptar-se sempre que muda de ecrã, perdendo assim um bocado a produtividade.

Outro bom padrão de design de interfaces é adaptar a interface gráfica ao público alvo da interface. A estrutura e ícones da interface devem refletir-se nas ferramentas que a aplicação tenciona substituir. Um grande exemplo dessa estratégia é o Windows, ele um sistema de ficheiros e pastas (usando ícones que remetem para as suas contrapartes físicas), tal como empregados de escritório usavam.

Um dos padrões usados de forma a facilitar o uso da interface é o WYSIWYG (*What You See Is What You Get*, isto é, “O que tu vês é o que vais ter”).

O utilizador deve poder visualizar o resultado das ações que está a realizar. Um exemplo que elucida a aplicação deste padrão são os editores de páginas de web, como se pode visualizar na Figura 14.

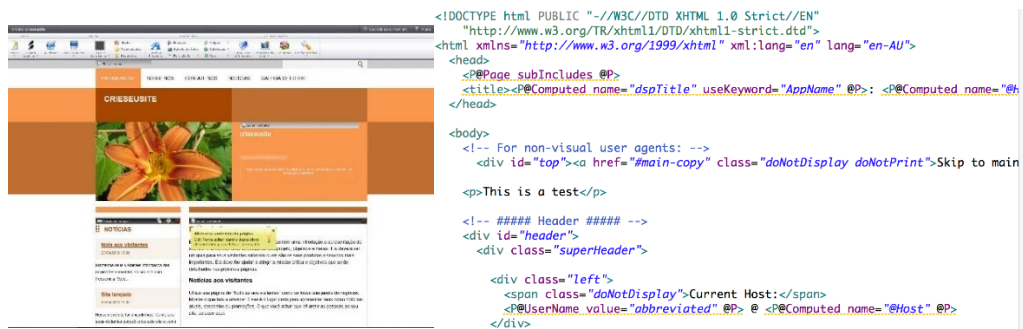


Figura 14 – Exemplo de editor de página web e código HTML<sup>10</sup>

Os editores de páginas web facilitam a criação de uma página web ao fazer com que o utilizador não necessite conhecimentos de HTML e CSS para saber o resultado das suas ações. O utilizador adiciona componentes que por trás são traduzidos para elementos HTML.

## 5.2 A versão 1.0 da solução SmartOrthosis

A versão 1.0 da solução focou-se mais no desenvolvimento numa interface gráfica básica e nos algoritmos necessários para a medição e comparação das nuvens de cabeça, sendo por isso uma aplicação *stand-alone* e a sua interface gráfica foi desenvolvida entre a 1ª milestone e a 7ª milestone.

### 5.2.1 Casos de uso

Na Figura 15 encontra-se o diagrama de casos de uso. É possível visualizar que existem dois casos de uso, medidas e comparação.

O caso de uso das Medidas pode ser dividido em cinco sub-casos de uso:

- Importar nuvem de pontos;
- Alinhar manualmente;
- Ferramentas de visualização da nuvem de pontos;
- Exportar cabeça com as correções;
- Definições de visualização do ecrã de medidas.

<sup>10</sup> Imagem disponível em 'Como criar sites grátis online com Wix, Webnode e outras plataformas' [59]



No caso de uso da comparação, existem 6 sub-casos de uso:

- Importar as cabeças a comparar;
- Selecionar a cabeça;
- Selecionar o modo de comparação;
- Ferramentas de visualização da nuvem de pontos;
- Comparar cabeças;
- Definições de visualização do ecrã de comparação.

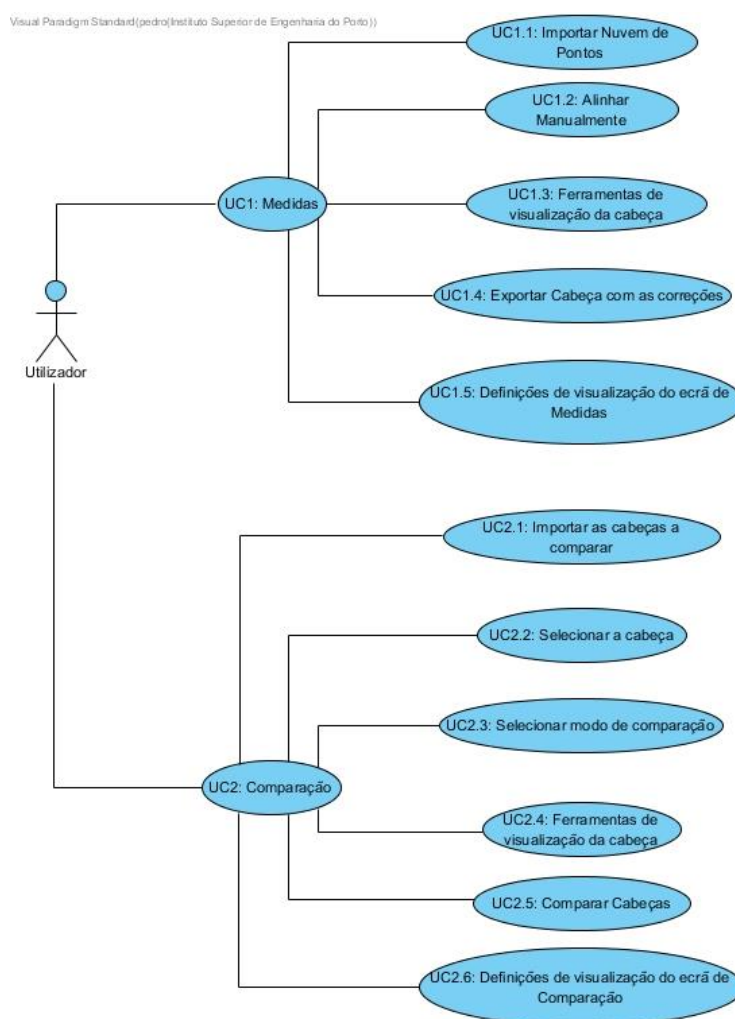


Figura 15 – Diagrama de casos de uso da solução 1.0

### **UC1.1: Importar nuvem de pontos**

Neste caso de uso o utilizador irá importar um ficheiro de uma nuvem de pontos com informações de uma cabeça. Após o utilizador importar o ficheiro, a nuvem de pontos será analisada para detetar os pontos de referência, fazer as correções necessárias na rotação e posição da cabeça e apresentar as medidas necessárias.

### **UC1.2: Alinhar manualmente**

Este caso de uso permite que o utilizador ajuste manualmente o alinhamento caso o alinhamento automático esteja incorreto. As falhas do alinhamento automático são causadas quando existe uma falha na deteção dos pontos de referência. As falhas na deteção de pontos de referência podem ser causadas pela má resolução de pontos, pouca definição nas zonas à volta dos olhos e orelhas, entre outras.

O utilizador marca os pontos que necessitam de correção e a cabeça será alinhada de acordo.

### **UC1.3: Ferramentas de visualização da nuvem de pontos**

O utilizador tem à sua disposição a visualização da cabeça que importou. Na visualização da cabeça é possível visualizar os pontos de referência utilizados, o plano de medição 3 e uma vista de topo da cabeça com o comprimento e largura.

Ele tem também à sua disposição ferramentas para visualizar melhor a cabeça, como zoom in, zoom out, rodar e deslocar a cabeça.

### **UC1.4: Exportar cabeça com as correções**

Neste caso de uso é dada a possibilidade de o utilizador exportar a cabeça importada com as correções que foram feitas.

### **UC1.5: Definições de visualização do ecrã de medidas**

O utilizador tem à sua disposição opções para desabilitar e habilitar a visualização dos pontos e do plano 3.

### **UC2.1: Importar as cabeças a comparar**

Neste caso de uso, o utilizador seleciona a pasta onde os ficheiros das nuvens de pontos desejadas se encontram.

### **UC2.2: Selecionar a cabeça**

É apresentado ao utilizador a lista das cabeças que ele importou. O utilizador seleciona a cabeça com a qual quer comparar.

### **UC2.3: Selecionar o modo de comparação**

Neste caso de uso é disponibilizada de o utilizador optar por dois métodos de comparação: comparação da cabeça completa e comparação usando apenas três planos de medição.

O modo da cabeça completa apesar de ser mais lento, toma em consideração toda a informação da cabeça. O modo dos três planos de medição utiliza apenas os pontos que se encontram nesses planos, sendo mais rápido.

### **UC2.4: Ferramentas de visualização da cabeça**

O utilizador tem à sua disposição a visualização da cabeça selecionada e da cabeça resultado.

Neste caso de uso, tal como no UC1.3, o utilizador tem também à sua disposição ferramentas para visualizar melhor a cabeça, como zoom in, zoom out, rodar e deslocar a cabeça.

### **UC2.5: Comparar cabeças**

Neste caso de uso, o utilizador inicia a comparação com os parâmetros definidos anteriormente. Será executado o script adequado ao método de comparação selecionado e será devolvida a cabeça mais similar à selecionada. Após isso, será apresentada a cabeça selecionada e a cabeça resultado, podendo o utilizador ver as suas diferenças.

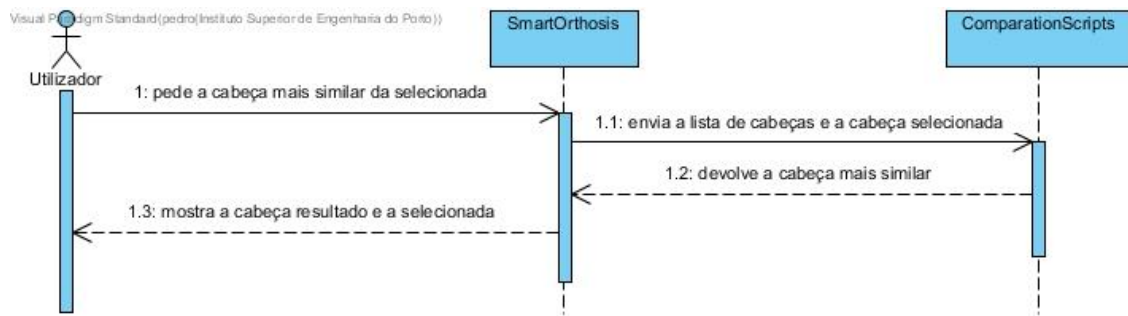


Figura 16 – Diagrama de sistema do caso de uso “Comparar cabeças”

### UC2.6: Definições de visualização do ecrã de comparação

O utilizador tem disponível diversas funções para alterar a visualização das cabeças, nomeadamente o modo de visualização (por pontos ou por faces), alterar a cor da cabeça selecionada e alterar a cor da cabeça resultado.

### 5.2.2 Diagrama de arquitetura

Na Figura 17 está representada a estrutura dos componentes deste projeto. O projeto é composto por dois componentes. Foi escolhida esta estrutura simples devido ao foco ser automatizar o processo de medição de cabeças.

O componente SmartOrthosis é o componente principal e é desenvolvido em Unity.

O componente ComparationScripts é um componente desenvolvido em R que tem como responsabilidade a comparação de nuvens de pontos de forma a verificar qual nuvem é mais próxima com a nuvem selecionada.

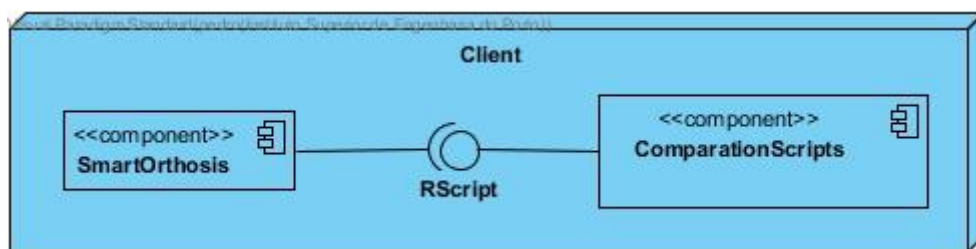


Figura 17 - Diagrama de componentes da versão 1.0 da solução

### **5.2.3 Mapa de navegação**

O diagrama seguinte ilustra todas as conexões entre os elementos da interface gráfica. Algumas das funções só estarão disponíveis após o utilizador importar as nuvens de pontos, como o Alinhamento Manual, Exportação e Configurações.

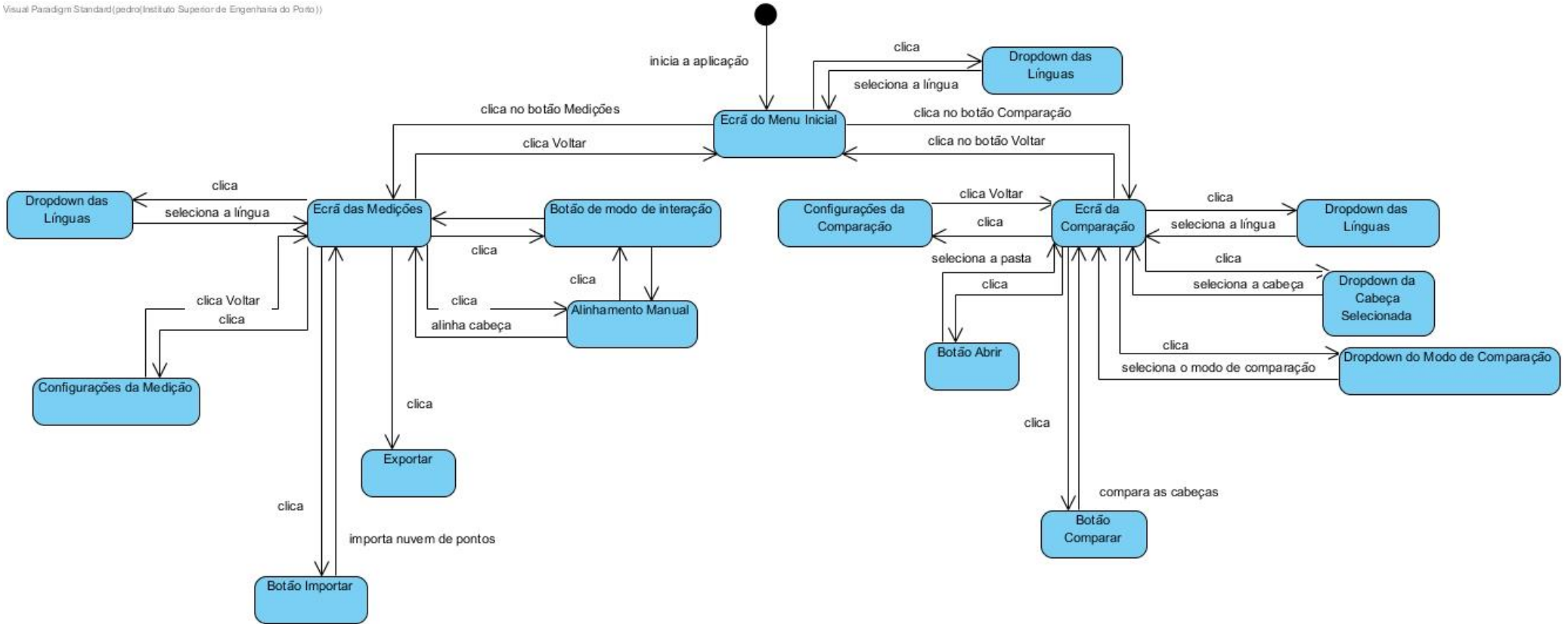


Figura 18 – Mapa de navegação da versão 1.0 da solução

## 5.3 A versão 2.0 da solução SmartOrthosis

A versão 2.0 foi dedicada a melhorar a interface gráfica e a experiência do utilizador ao utilizar a solução. De forma a melhorar a experiência do utilizador, dentre outras coisas, foi adicionada uma base de dados, fazendo com que o utilizador deixe de ter de importar sempre as nuvens de pontos. A evolução da interface gráfica desta versão foi desenvolvida na 8ª e 9ª milestone.

### 5.3.1 Diagrama de arquitetura

Na Figura 19 está representada a estrutura dos componentes deste projeto. Em relação à arquitetura da versão 1.0, foi acrescentada uma base de dados e um *backend* para gerir a base de dados.

O componente SmartOrthosisBackend é um *backend* desenvolvido em Asp.Net Core que comunica com o componente da base de dados PostgreSQL e fornece uma API REST para o componente SmartOrthosis.

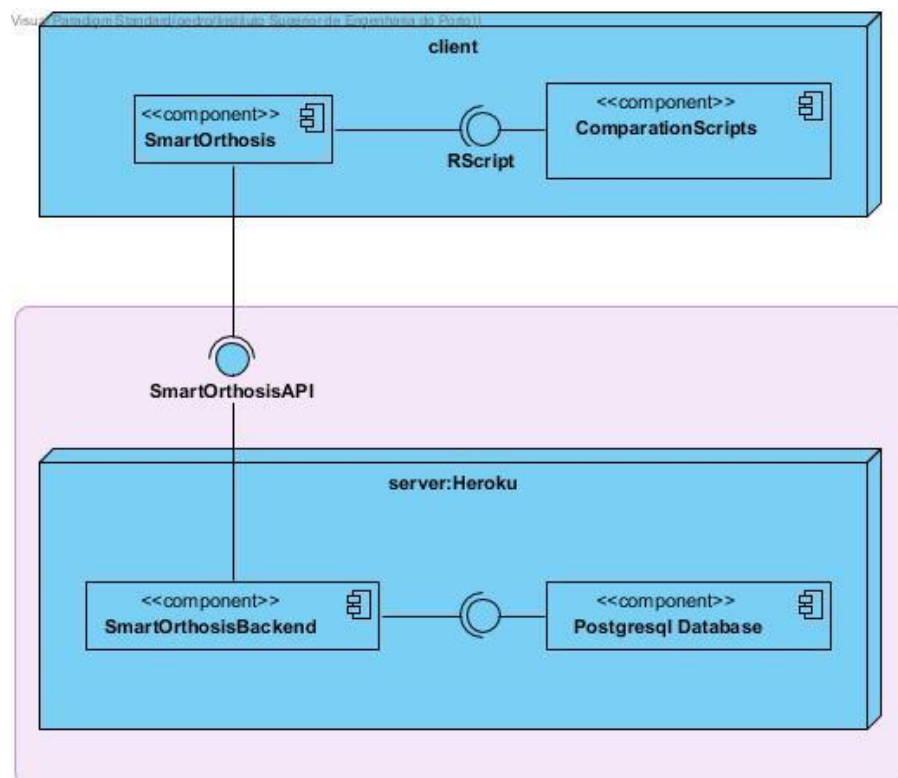


Figura 19 - Diagrama de componentes da versão 2.0 da solução

### 5.3.2 Casos de uso

Na Figura 20 encontra-se o diagrama de casos de uso da versão 2.0 da solução. Com a segunda versão da solução foi necessário adicionar dois casos de uso novos: autenticação e menu principal.

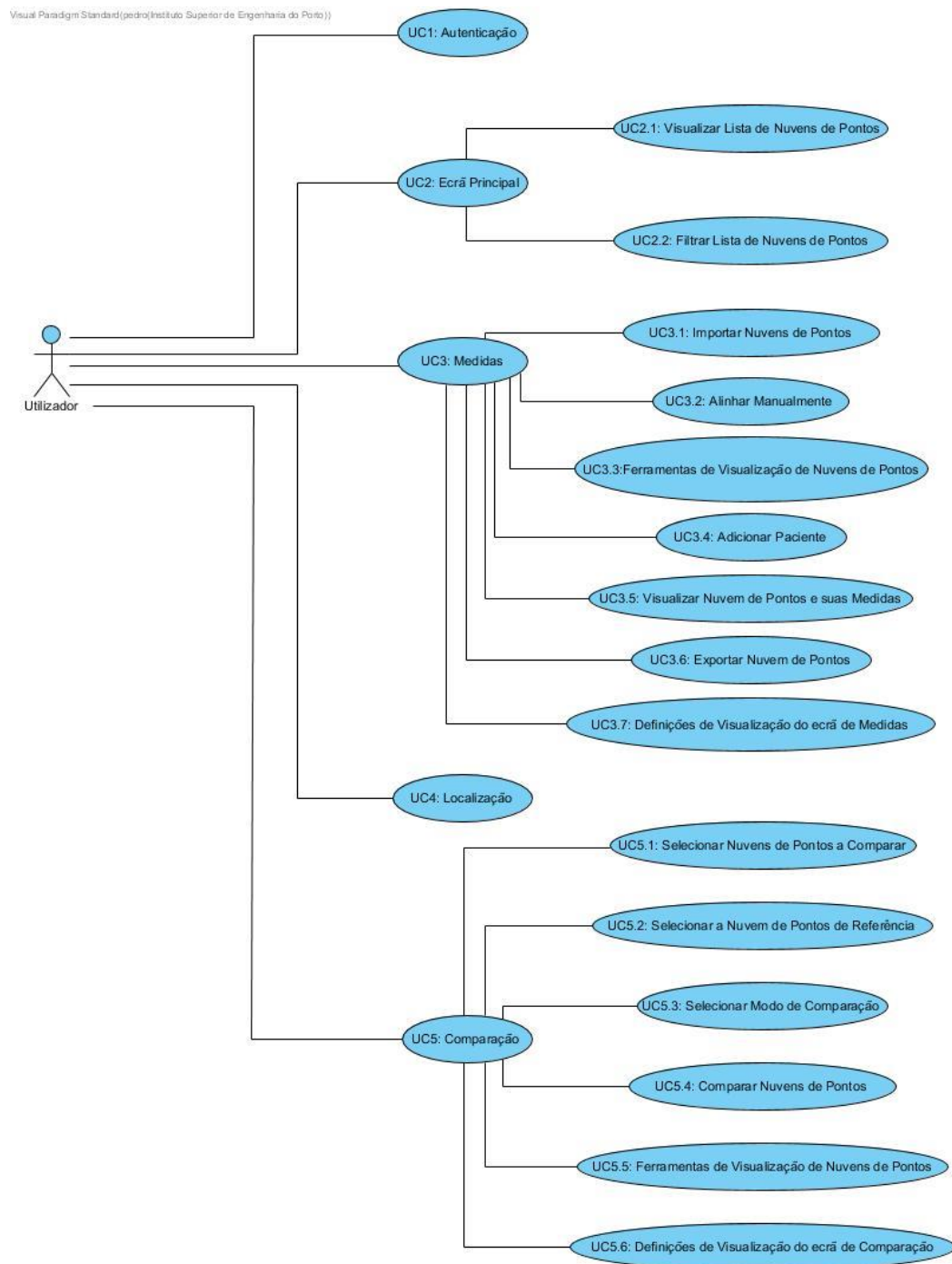


Figura 20 – Diagrama de casos de uso da Solução 2.0



## **UC1: Autenticação**

Neste caso de uso o utilizador autentica-se na aplicação utilizando o seu nome de utilizador e password. O utilizador também terá a opção de memorizar os seus dados de autenticação para as próximas sessões.

### **UC2.1: Visualizar lista de nuvens de pontos**

O utilizador terá a possibilidade de visualizar uma lista de nuvens de pontos, apresentando a data de submissão, data da captura, o nome do submissor e o nome do paciente.

### **UC2.2: Filtrar lista de nuvens de pontos**

Neste caso de uso o utilizador poderá pesquisar e/ou ordenar as nuvens de pontos pelas suas características.

### **UC3.1: Importar nuvens de pontos**

Sendo este caso de uso uma evolução do UC1.1 da versão 1.0 da solução, o utilizador irá importar um ficheiro de uma nuvem de pontos com informações de uma cabeça e a mesma será analisada para detetar os pontos de referência, fazer as correções necessárias na rotação e posição da cabeça e apresentar as medidas necessárias.

O utilizador também seleciona o paciente a que pertence a nuvem de pontos e a data da captura da mesma.

Posteriormente, a nuvem de pontos com as correções e as outras informações geradas serão persistidas na base de dados, utilizando para isso a API do SmartOrthosisBackend.

### **UC3.2: Alinhar manualmente**

Este caso de uso é o correspondente ao UC1.2 da versão 1.0 da solução. Sendo apenas feitas melhorias na UI/UX

### **UC3.3: Ferramentas de visualização de nuvens de pontos**

O utilizador terá a possibilidade de manipular a visualização da nuvem de pontos, podendo aumentar e diminuir o zoom e visualizar outros ângulos da nuvem de pontos em pormenor.

### **UC3.4: Adicionar paciente**

Neste caso de uso o utilizador adiciona um paciente novo. O utilizador irá inserir os dados do paciente como o nome e a data de nascimento.

### **UC3.5: Visualizar nuvem de pontos e suas medidas**

O utilizador, neste caso de uso, consulta a nuvem de pontos, podendo visualizar o modelo 3D da nuvem de pontos, as medidas, os pontos de referência, o nome do paciente, o nome do submissor e as datas de submissão e captura.

### **UC3.6: Exportar nuvens de pontos**

Este caso de uso é uma evolução do UC1.4. Neste caso de uso permite ao utilizador exportar a nuvem de pontos, que está na persistida na base de dados, para um ficheiro em formato ply.

### **UC3.7: Definições de visualização do ecrã de medidas**

Este caso de uso é o correspondente ao UC1.5 da versão 1.0 da solução.

## **UC4: Localização**

O utilizador poderá trocar a qualquer a língua da interface. Havendo atualmente a possibilidade de trocar entre português, inglês, espanhol, francês e alemão.

### **UC5.1: Selecionar nuvens de pontos a comparar**

Este caso de uso é a correspondente ao UC2.1 da versão 1.0 da solução. Em comparação com o UC2.1, o utilizador deixa de ter de importar a lista de nuvens de pontos que deseja comparar, passando a necessitar de apenas selecionar as nuvens de pontos pretendidas.

### **UC5.2: Selecionar a nuvem de pontos de referência**

Neste caso de uso o utilizador irá selecionar uma das nuvens de pontos que foram previamente selecionadas no UC5.1. Esta nuvem de pontos será usada como referência para a cabeça mais próxima.

### **UC5.3: Selecionar modo de comparação**

Este caso de uso é o correspondente ao UC2.3 da versão 1.0 da solução.

### **UC5.4: Comparar nuvens de pontos**

Este caso de uso é o correspondente ao UC2.5 da versão 1.0 da solução.

#### **UC5.5: Ferramentas de visualização de nuvens de pontos**

Este caso de uso é o correspondente ao UC2.4 da versão 1.0 da solução.

#### **UC5.6: Definições de visualização do ecrã de comparação**

Este caso de uso é o correspondente ao UC2.6 da versão 1.0 da solução.

### **5.3.3 Diagrama relacional**

O diagrama relacional é uma representação visual das tabelas e relações entre tabelas que serão usadas na base de dados de forma a armazenar os dados da solução.

Na Figura 21 podemos visualizar o diagrama relacional da base de dados utilizada na solução. A tabela Head armazenará as medidas calculadas na aplicação e serão armazenados os dados relativos à nuvem de pontos nas tabelas Point e Triangle. A Head também terá a referência para os pontos antropométricos, como o sellion, os cantos dos olhos e os tragions.

Os dados dos pacientes e dos submissores serão armazenados nas tabelas Patient e User, respetivamente, tendo depois referências na tabela Head.

Serão guardadas as comparações realizadas anteriormente, registando as nuvens de pontos usadas, a nuvem de ponto de referência, o método e o resultado.

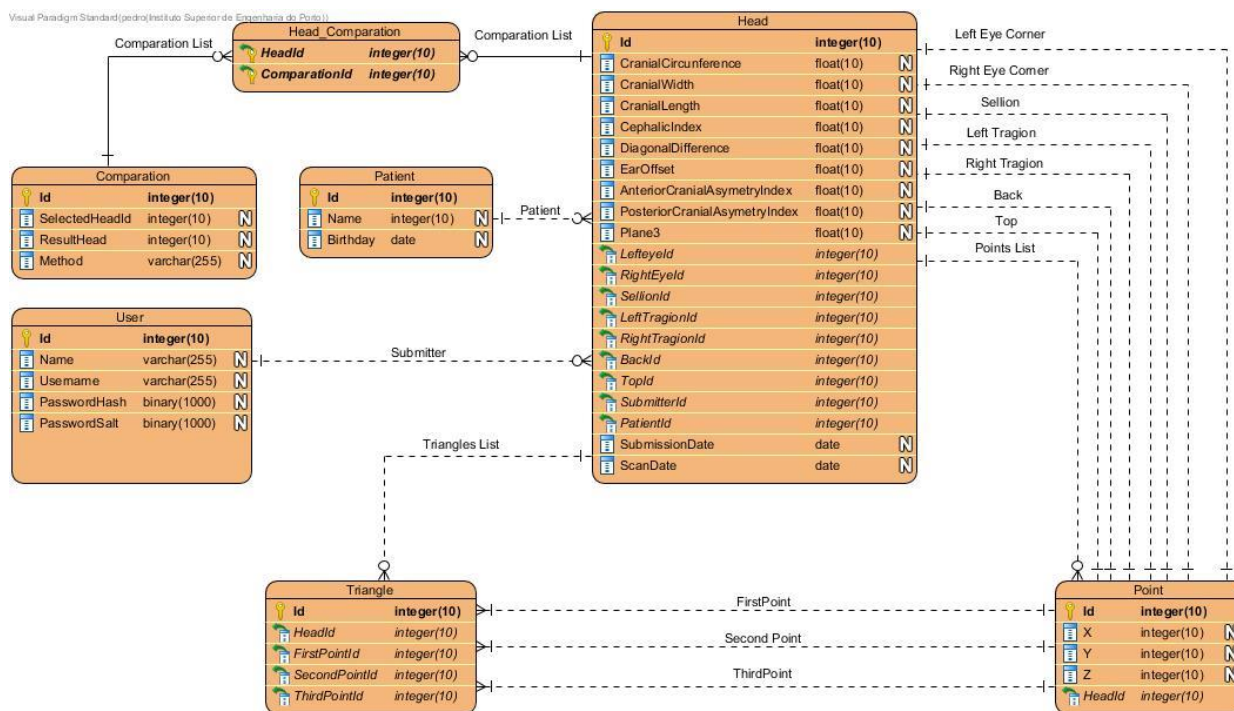


Figura 21 – Diagrama relacional

### 5.3.4 Mapa de navegação da aplicação

Com o desenvolvimento da versão 2.0 da solução, várias mudanças foram feitas na estrutura da aplicação. Estas mudanças podem ser visualizadas na Figura 18.

O anterior “Ecrã de Medidas” foi dividido em dois ecrãs diferentes, passando a haver um ecrã dedicado na importação das nuvens de pontos e outro ecrã dedicado à visualização da nuvem de pontos e medidas.

No ecrã de comparação diversos elementos foram substituídos, nomeadamente o botão de Importação foi substituído pela “Lista de Cabeças”, que é preenchido com os dados da base de dados.

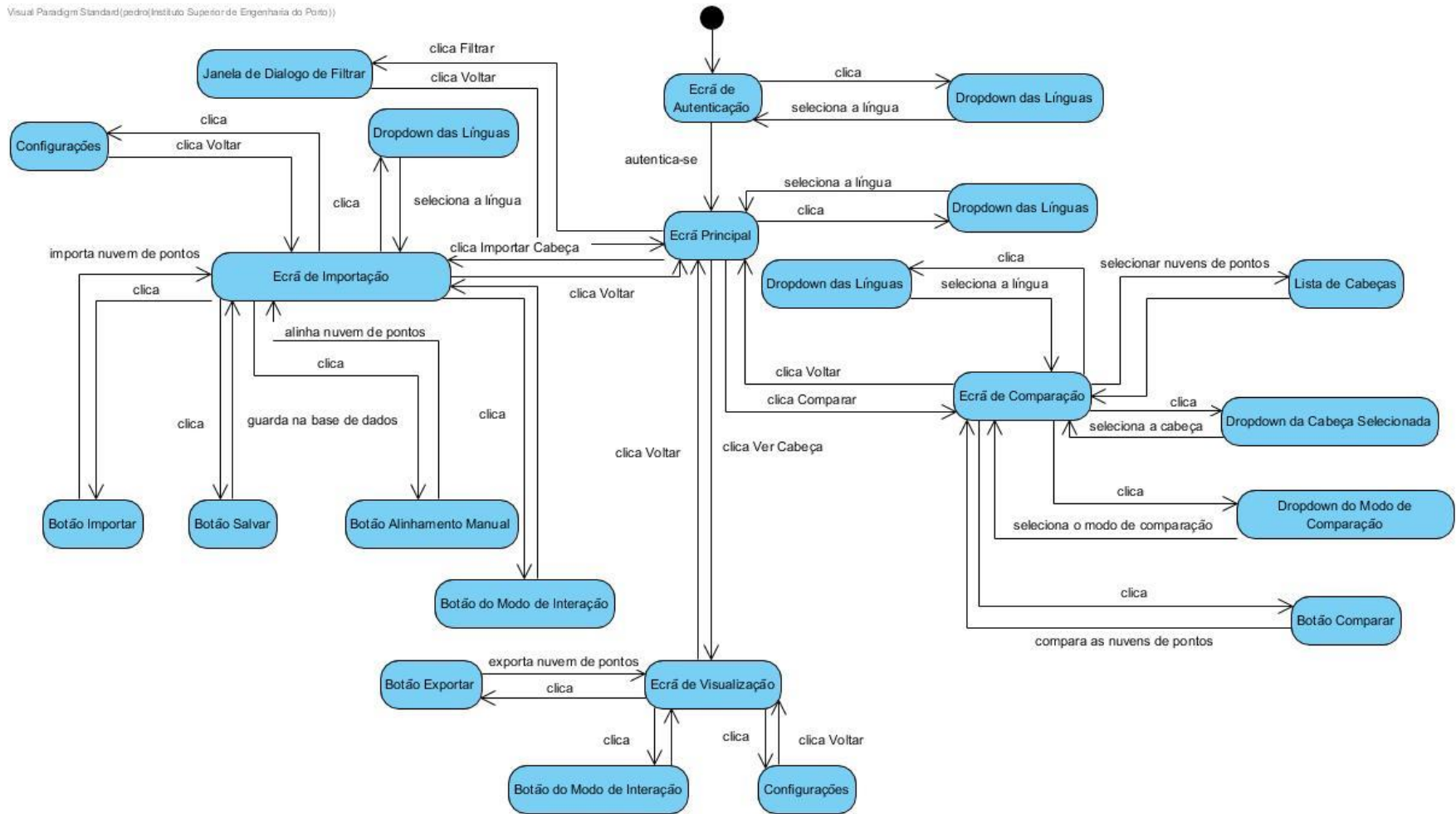


Figura 22 – Mapa de navegação da versão 2.0 da solução

## 5.4 Modelo de teste

Para modelo de teste, tínhamos planeado carregar a solução com uma grande quantidade de nuvens de pontes de cabeças, mas que acabaram por não nos ser fornecidas.

No entanto, foi-nos possível, testar a solução desenvolvida recorrendo a 3 *datasets* com características diferentes.

As nuvens de pontos fornecidas nos 3 *datasets* encontravam-se no formato PLY. O formato PLY é um formato de ficheiro conhecido como “*Polygon File Format*”. Ele é desenhado para armazenar dados tridimensionais de *scanners* 3D [60]. Os objetos são descritos como uma lista de vértices definidos pelas coordenadas x, y e z. Este formato permite também definir outras propriedades como polígonos, vértices, cor dos polígonos e vetores normais dos vértices.

### 5.4.1 Dataset 1

O *dataset* 1 é composto por 10 nuvens de pontos de cabeças adultas com deformações e uma cabeça normal. As 10 cabeças com deformações foram obtidas através de transformações da cabeça normal.

Elas encontram-se espalhadas no espaço e desalinhadas, conforme se apresenta na Figura 22.

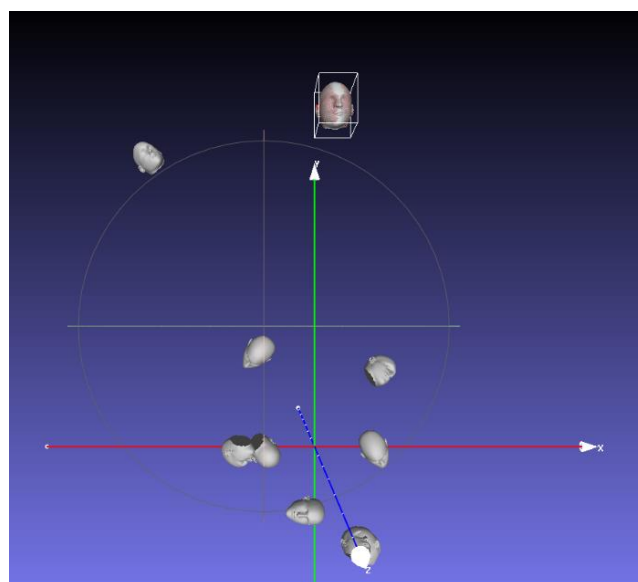


Figura 23 - Nuvens de pontos do *dataset* 1

### 5.4.2 Dataset 2

O *dataset 2* é composto por 10 nuvens de pontos de cabeças com deformações e uma cabeça normal.

As 10 cabeças com deformações foram obtidas através de transformações da cabeça normal utilizando proporções reais de alguns tipos de plagiocefalia.

Elas encontram-se espalhadas no espaço e desalinhadas.

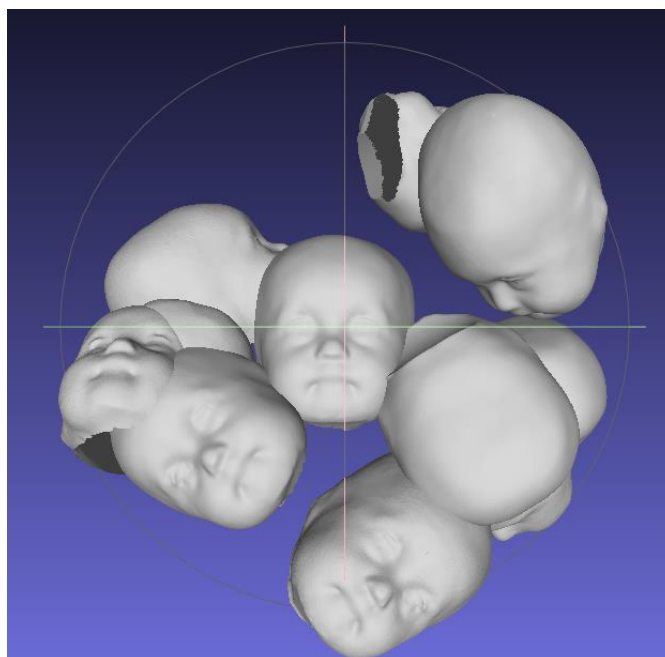


Figura 24 – Nuvens de pontos do *dataset 2*

### 5.4.3 Dataset 3

O terceiro *dataset* foi obtido através de imagens de ressonâncias magnéticas a 10 crianças. Elas encontram-se centradas na origem, mas com rotações diferentes.

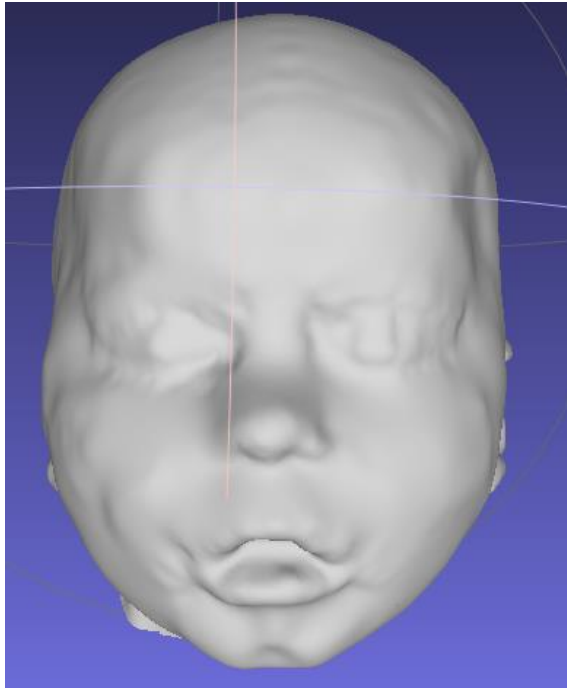


Figura 25 – Nuvem de pontos 10 do *dataset 3*





## **Capítulo 6. A solução SmartOrthosis e a interface gráfica de suporte**

Neste capítulo será abordada a implementação de diversas partes da solução. Será inicialmente descrita os métodos utilizados para centralizar e orientar a nuvem de pontos das cabeças.

Posteriormente irá ser descrito o processo utilizado para realizar a comparação de nuvens de pontos de cabeças.

Foi também apresentado a evolução da interface gráfica, referindo os motivos por de trás das alterações realizadas ao longo do tempo.

Finalmente será apresentada o backend desenvolvido para comunicar com a aplicação.

### **6.1 Centralização das nuvens de pontos das cabeças**

Como é visível na Figura 23 e Figura 24, as nuvens de pontos das cabeças estão espalhadas pelo espaço cartesiano.

Para facilitar o reconhecimento das referências anatómicas e visualização da nuvem de pontos é necessário colocar as cabeças no mesmo local.

O método CenterHead da classe HeadOperations trata de calcular o ponto central da nuvem de pontos, para posteriormente centrar a cabeça na origem do espaço cartesiano.

```
private void CenterHead()
{
    Mesh mesh = GetComponentInChildren<MeshFilter>().mesh;

    Vector3[] vertices = mesh.vertices;

    foreach (Vector3 item in vertices)
    {
        mean += item;
    }

    mean /= vertices.Length;

    for (int i = 0; i < vertices.Length; i++)
    {
        vertices[i] -= mean;
    }

    mesh.vertices = vertices;

    mesh.RecalculateBounds();

    GetComponentInChildren<MeshCollider>().sharedMesh = null;
    GetComponentInChildren<MeshCollider>().sharedMesh = mesh;
}
```

Figura 26 – Método CenterHead

## 6.2 Orientação das nuvens de pontos das cabeças

É também necessário orientar as nuvens de pontos de forma a apresentarem de forma consistente e para realizar as medições necessárias

Para realizar a rotação foi calculado os ângulos entre o plano formado pelos cantos dos olhos e os eixos (Figura 27).

```

public void CalculateRotation()
{
    Matrix4x4 localToWorld = obj.transform.localToWorldMatrix;

    //transform.Rotate(axis, Mathf.Acos(angle) * Mathf.Rad2Deg);
    //angulo para rodar a cabeça de modo a que os olhos tenham o mesmo valor de yy (altura)
    double angrodarZt = (float)Math.Atan2(secondNearestPoint.y - nearestPoint.y, secondNearestPoint.x - nearestPoint.x);
    float angrodarZ = (float)angrodarZt * Mathf.Rad2Deg * -1;

    //angulo para rodar a cabeça de modo a que os olhos tenham o mesmo valor de zz
    //ou seja ficarem alinhados para que nao esteja 1 olho a frente e outro atrás
    double angrodarXt = (float)Math.Atan2(secondNearestPoint.z - nearestPoint.z, secondNearestPoint.x - nearestPoint.x);
    float angrodarX = (float)angrodarXt * Mathf.Rad2Deg * -1;

    //inicialmente os valores de rotacao para X,Y e Z estao a 0
    valorRotacaoX = valorRotacaoX + angrodarX;
    valorRotacaoZ = valorRotacaoZ + angrodarZ;

    obj.transform.rotation = Quaternion.Euler(valorRotacaoX, 0, valorRotacaoZ);

    CalculateNearestPoint();

    //depois de fazer a 1 rotacao e
    Vector3 middlePointTemp = (nearestPoint + secondNearestPoint) / 2;

    double angZt = (float)Math.Atan2(middlePointTemp.y - valorCabecayy, middlePointTemp.z - valorCabecazz);
    float angZ = (float)angZt * Mathf.Rad2Deg;

    valorRotacaoX = valorRotacaoX + angZ;

    obj.transform.rotation = Quaternion.Euler(valorRotacaoX, 0, valorRotacaoZ);
}

```

Figura 27 – Método CalculateRotation (I)

Foi necessário posteriormente realizar alguns refinamentos e validações de forma a orientar a cabeça o melhor possível.

Na Figura 28, é de novo calculado os cantos de olhos, de forma a refinar a orientação e é calculado o ângulo dos yy.

```

CalculateNearestPoint();
CalculateMiddlePointMaster();

//nova rotacao para melhorar alinhamento
angrodarZt = (float)Math.Atan2(secondNearestPoint.y - nearestPoint.y, secondNearestPoint.x - nearestPoint.x);
angrodarZ = (float)angrodarZt * Mathf.Rad2Deg * -1;

valorRotacaoZ = valorRotacaoZ + angrodarZ;

obj.transform.rotation = Quaternion.Euler(valorRotacaoX, 0, valorRotacaoZ);

CalculateNearestPoint();
CalculateMiddlePointMaster();

//rodar no eixo dos yy para a cabeça nao ficar de lado
double angrodarYt = (float)Math.Atan2(secondNearestPoint.z - nearestPoint.z, secondNearestPoint.x - nearestPoint.x);
float angrodarY = (float)angrodarYt * Mathf.Rad2Deg;

valorRotacaoY = angrodarY;

obj.transform.rotation = Quaternion.Euler(valorRotacaoX, valorRotacaoY, valorRotacaoZ);

```

Figura 28 - Método CalculateRotation (II)

Após a primeira orientação, é realizada uma validação para verificar se a cabeça está com os olhos acima do ponto central da cabeça. Caso os olhos estejam acima, inverte o ângulo de rotação. Esta validação é feita para os três eixos, como é possível visualizar na Figura 29 e na Figura 30. Esta validação é necessária devido a uma limitação do Atan2.

```

float rodaX = 0;

//angulo para rodar a cabeca de modo a que os olhos fiquem alinhados nos yy
double angtestet = (float)Math.Atan2(secondNearestPoint.y - nearestPoint.y, secondNearestPoint.x - nearestPoint.x);
float angteste = (float)angtestet * Mathf.Rad2Deg;

if (middlePointMaster.y < valorCabecayy)//caso os olhos estejam abaixo do centro da cabeca a rotacao
//tem de ser negativa
{
    if (angteste >= 0)
    {
        angteste = angteste * -1;
    }
}
else
{
    if (angteste < 0)
    {
        angteste = angteste * -1;
    }
}

valorRotacaoX = valorRotacaoX + angteste;

obj.transform.rotation = Quaternion.Euler(valorRotacaoX, valorRotacaoY, valorRotacaoZ);

CalculateNearestPoint();
CalculateMiddlePointMaster();
CalculateFarthestPoint();

```

Figura 29 - Método CalculateRotation (III)

```

//depois de alinhar os olhos nos yy verifica-se se a cabeca esta para baixo e roda-se se necessario
if (farPoint.y < middlePointMaster.y)//se o farPoint (ponto do cimo da cabeca) tiver yy menor que os olhos
//esta de cabeca para baixo por isso e preciso rodar
{
    rodaX = 180;
    valorRotacaoX = valorRotacaoX + rodaX;
    obj.transform.rotation = Quaternion.Euler(valorRotacaoX, valorRotacaoY, valorRotacaoZ);
}

CalculateNearestPoint();
CalculateMiddlePointMaster();

//rodar nos yy para que a cabeca fique a olhar de frente
double angrodarYt2 = (float)Math.Atan2(secondNearestPoint.z - nearestPoint.z, secondNearestPoint.x - nearestPoint.x);
float angrodarY2 = (float)angrodarYt2 * Mathf.Rad2Deg;
valorRotacaoY = angrodarY2 + angrodarY;
obj.transform.rotation = Quaternion.Euler(valorRotacaoX, valorRotacaoY, valorRotacaoZ);

CalculateNearestPoint();
CalculateMiddlePointMaster();

//rotacao extra
//algumas cabecas continuavam inclinadas
//esta rotacao e feita para assegurar que ficam a olhar de frente
if (middlePointMaster.z < valorCabecazz)
{
    valorRotacaoY = 180 + valorRotacaoY;
    obj.transform.rotation = Quaternion.Euler(valorRotacaoX, valorRotacaoY, valorRotacaoZ);
}

//aperfeicoamento1 rotacap em zz e depois em yy

CalculateNearestPoint();
angrodarZt = (float)Math.Atan2(Math.Abs(secondNearestPoint.y - nearestPoint.y),
    Math.Abs(secondNearestPoint.x - nearestPoint.x));
angrodarZ = (float)angrodarZt * Mathf.Rad2Deg * -1;

valorRotacaoZ = valorRotacaoZ + CalculateAngleRotZZeyes(nearestPoint, secondNearestPoint);//angrodarZ;

```

Figura 30 - Método CalculateRotation (IV)

## 6.3 Comparação de nuvens de pontos de cabeças

De forma a comparar as nuvens de pontos, foi necessário escolher algoritmos de comparação de nuvens de pontos.

O Ângelo Pinto, colega e bolseiro do projeto SmartOrthosis, foi o responsável por estudar qual algoritmo produzia os melhores resultados e à implementação dos algoritmos.

No final do seu estudo, ele concluiu que o algoritmo Hausdorff e o algoritmo Procustes eram os que produziam melhores resultados. O algoritmo Hausdorff produzia os melhores resultados utilizando apenas a informação dos planos 3,4 e 5. E o Procustes produzia os melhores resultados utilizando a informação da cabeça completa.

Para a implementação dos algoritmos, ele utilizou a linguagem R.

De forma a utilizar os algoritmos implementados pelo Ângelo Pinto, os scripts tiveram de ser adaptados de forma a instalarem e importarem todas as bibliotecas necessárias, e também para obterem os dados a partir de argumentos de linha de comando.

```
#!/usr/bin/env Rscript
args = commandArgs(trailingOnly=TRUE)

#####
#                               #
#####

if("shapes" %in% rownames(installed.packages()) == FALSE) {
  install.packages("shapes")
}

if("pracma" %in% rownames(installed.packages()) == FALSE) {
  install.packages("pracma")
}

if("ecr" %in% rownames(installed.packages()) == FALSE) {
  install.packages("ecr")
}

if("rlist" %in% rownames(installed.packages()) == FALSE) {
  install.packages("rlist")
}

if("VoxR" %in% rownames(installed.packages()) == FALSE) {
  install.packages("VoxR")
}

library("BBmisc",quietly = T,warn.conflicts = FALSE)
library("shapes",quietly = T,warn.conflicts = FALSE)
library("pracma",quietly = T,warn.conflicts = FALSE)
library("ecr",quietly = T, warn.conflicts = FALSE)
library("rlist",quietly = T, warn.conflicts = FALSE)
library("VoxR",quietly = T,warn.conflicts = FALSE)
```

Figura 31 – Excerto do script layers\_3\_4\_5\_hausdorff.r

O método RunProcess da classe StartComparison é a responsável por executar os scripts em R através da linha de comandos. A linha de comandos irá executar uma versão portátil do Rscripts que está incluída na pasta StreamingAssets da aplicação Unity, como se pode ver na Figura 32.

```

private string RunProcess()
{
    List<string> paths = new List<string>();
    foreach (var item in headComparisonController.selectedHeadList)
    {
        paths.Add(item.Path);
    }

    string file = headComparisonController.headList[drop.value].Path;

    System.Diagnostics.Process process = new System.Diagnostics.Process();
    // For macOS, here should be
    // I. "/bin/sh"
    // II. "path_of_the_Rscript"

    string cam = Application.dataPath.ToString();
    int a1 = cam.LastIndexOf("/");
    string abcd = cam.Substring(0, a1);
    string caminhoGravar = abcd + "/Rinstallation";
    Debug.Log("pastaR " + abcd);
    abcd = abcd + "/Rinstallation/AppR/R-Portable/bin/Rscript.exe";
    //abcd = @abcd;

    //string abcd = @"C:\R-Portable\App\R-Portable\bin\Rscript.exe";
    //process.StartInfo.FileName = @"C:\R-Portable\App\R-Portable\bin\Rscript.exe";
    process.StartInfo.FileName = abcd;

    switch (mode.value)
    {
        case 0:
            ProcessCompleteHead(process, paths.ToArray(), file, caminhoGravar);
            break;
        case 1:
            ProcessLevelsHead(process, paths.ToArray(), file, caminhoGravar);
            break;
        default:
            break;
    }
}

```

Figura 32 – Método RunProcess da classe StartComparation (I)

Na Figura 33 é possível visualizar os parâmetros enviados para a requisição de um processo de linha de comandos, cujas *streams* de *output* e de erros foram redirecionadas para a aplicação em Unity.

```

process.StartInfo.WorkingDirectory = Application.dataPath + "/StreamingAssets/Rscripts";
process.StartInfo.UseShellExecute = false;
process.StartInfo.RedirectStandardOutput = true;
process.StartInfo.RedirectStandardError = true;
process.StartInfo.UseShellExecute = false;
process.StartInfo.CreateNoWindow = true;
process.Start();
//read the output
string output = process.StandardOutput.ReadToEnd();
//string err = process.StandardError.ReadToEnd();
process.WaitForExit();
Debug.Log(output);
//Debug.LogError(err);
return output;

```

Figura 33 - Método RunProcess da classe StartComparation (II)

## 6.4 Evolução da interface gráfica

Ao longo do desenvolvimento da solução, a interface gráfica foi evoluindo, de forma a satisfazer as necessidades dos utilizadores e as novas funcionalidades implementadas.

### 6.4.1 Interface na 1ª milestone

Como é visível na Figura 34, inicialmente foi implementada uma interface dividida em 2 zonas: a zona da visualização da cabeça (no canto superior direito) e a zona dos controlos.

Foram escolhidas as cores #D3F5FF para o fundo e a cor #42A3FF para os botões. Foram escolhidos estes tons de azul devido ao azul estar associado com confiança, conhecimento e estabilidade.

Esta interface contém apenas o botão para importar a nuvem de pontos da cabeça, a rotação da cabeça através do *drag* na zona da visualização da cabeça, os botões de zoom in e zoom out.

Neste momento a interface ainda apresentava a cabeça com a rotação original, fazendo apenas a centralização na zona de visualização.

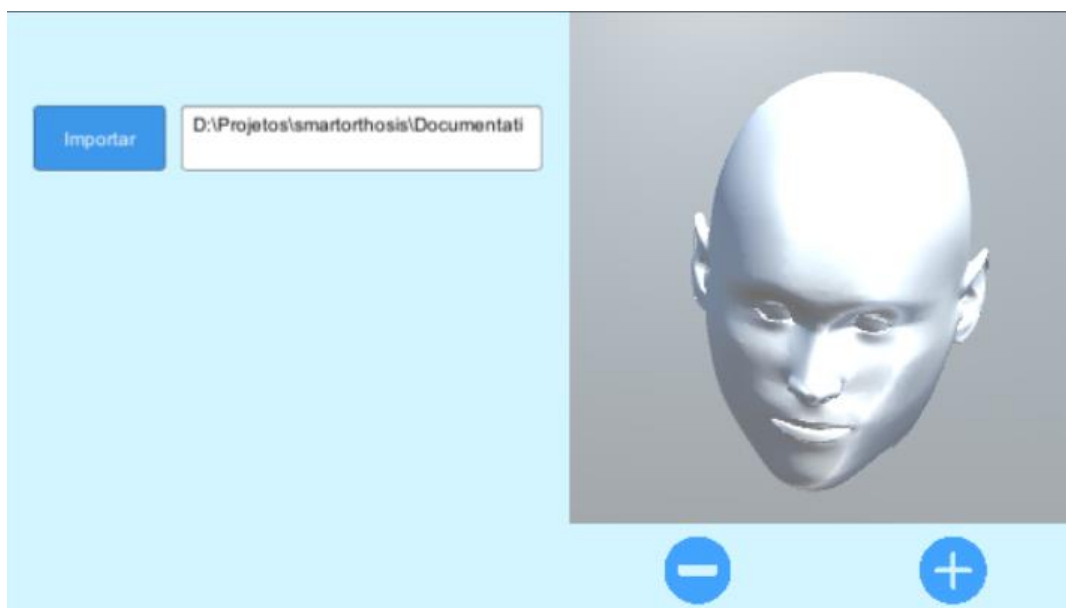


Figura 34 - Interface gráfica na 1ª *milestone*



### 6.4.2 Interface na 2ª milestone

Com o reconhecimento dos cantos dos olhos foi possível corrigir a rotação da cabeça de forma a ficar virada para a frente. O reconhecimento dos cantos dos olhos e a uniformização da rotação permitiu detetar os restantes pontos (tragion, ponto atrás da cabeça, sellion).

Foi adicionado um botão para dar a possibilidade ao utilizador de exportar a nuvem de pontos com a localização e rotação uniformizadas.

A *checkbox* “Pontos” permite o utilizador desabilitar a visualização dos pontos, de forma a visualizar melhor algum pormenor que esteja a ser tapado pelo ponto.

Foi também iniciada a zona com todas as medições que irão ser efetuadas, mas nesta fase não tinha nenhuma lógica por trás.

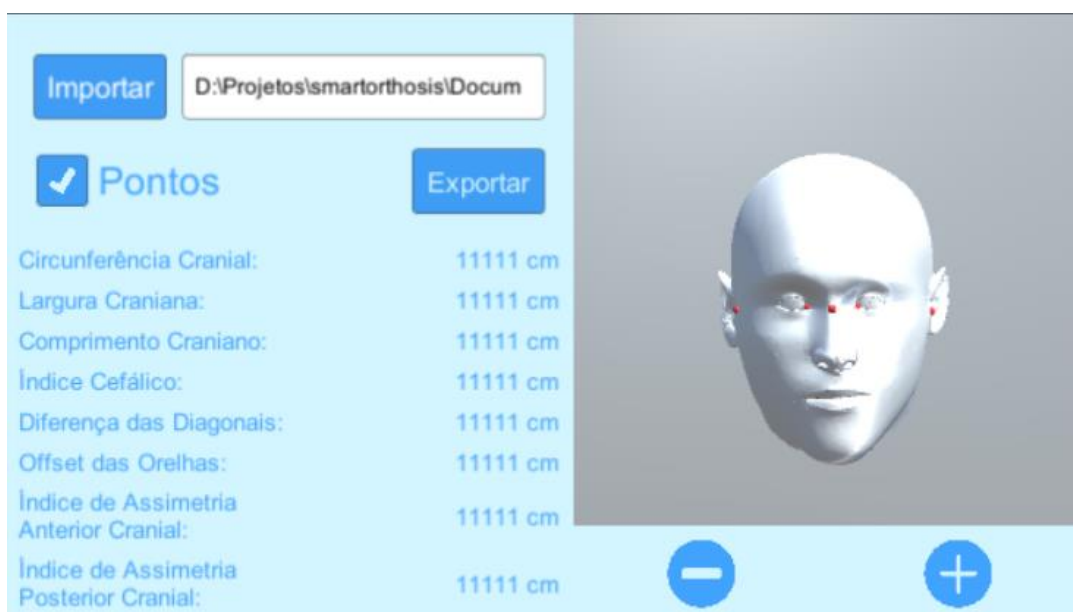


Figura 35 - Interface gráfica na 2ª milestone

### 6.4.3 Interface na 3ª milestone

Foi alterada a cor da cabeça de branco (#FFFFFF) para um cinzento metálico (#7D7D7D). Isto permite uma melhor visualização do formato da cabeça.

Foi também finalizado a zona das medidas, estando já com as unidades conformes e os valores atualizados. Foi acrescentado o ponto atrás da cabeça e o ponto no topo da cabeça.

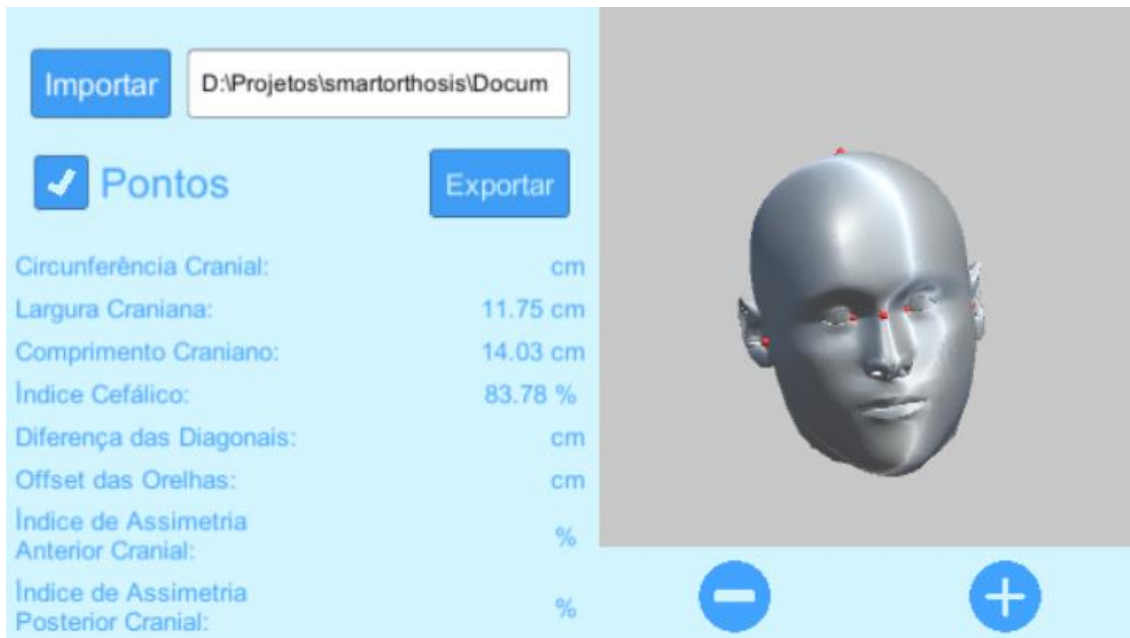


Figura 36 - Interface gráfica na 3ª milestone

#### 6.4.4 Interface na 4ª milestone

Após a reunião com todos os elementos chegou-se à conclusão que os médicos estão habituados a visualizar nos seus documentos (Figura 37) as medições à direita e imagens à direita.

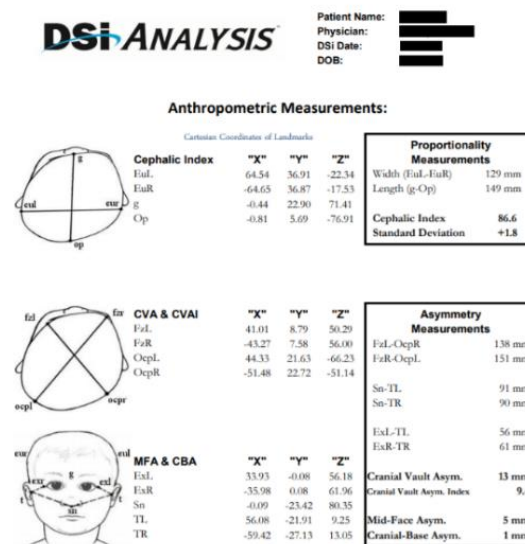


Figura 37 – Exemplo de documento médico com medições da cabeça

De forma a ser mais fácil a habituação, foi mantida a estrutura do documento na interface gráfica, trocando a localização da zona com as medições com a zona da cabeça.

Foi também alterada a unidade de medição de centímetros para milímetros de forma a ficar uniforme com a unidade normalmente usada pelos médicos.

Foi também acrescentada uma vista fixa de cima da cabeça e um paralelepípedo verde no plano de medição 3.



Figura 38 - Interface gráfica na 4ª milestone

#### 6.4.5 Interface na 5ª milestone

Entretanto foi acrescentada na vista de topo duas retas brancas que foram usadas para calcular a largura e comprimento cranianos.

Foi substituída a *checkbox* "Pontos" por um menu definições (Figura 40), permitindo assim o utilizador ativar e desativar os componentes desejados.

As posições dos botões para aumentar e diminuir o zoom foram alteradas de forma a ficarem mais juntos, melhorando a eficiência na manipulação do zoom.



Figura 39 - Interface gráfica na 5ª *milestone* (I)



Figura 40 - Interface gráfica na 5ª *milestone* (II)

#### 6.4.6 Interface na 6ª *milestone*

Foi mudada a localização do botão “Definições” para perto dos botões de zoom e foi acrescentada a *dropdown* para mudar a língua em tempo de execução.

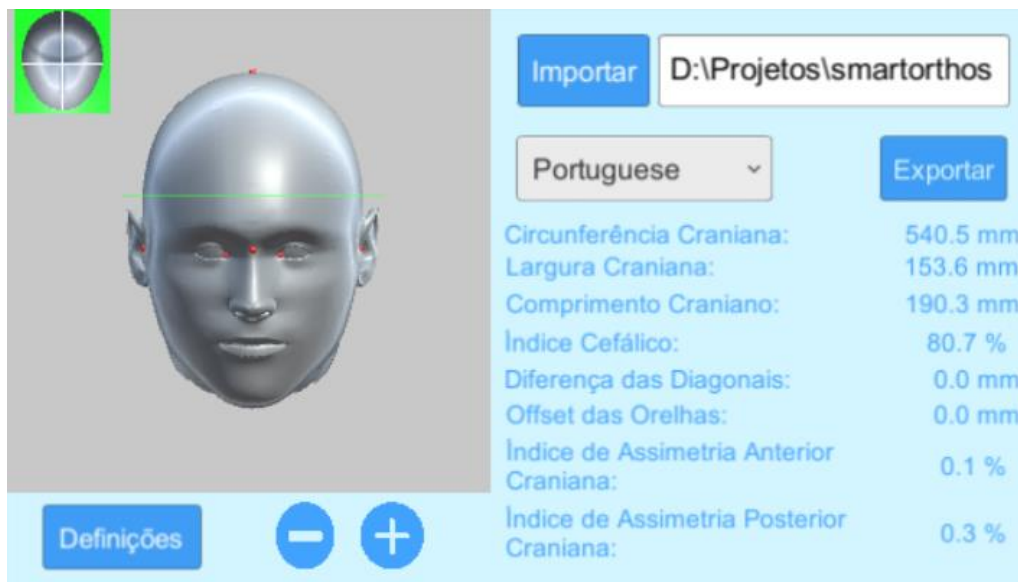


Figura 41 – Interface gráfica na 6ª milestone

#### 6.4.7 Interface na 7ª milestone

Foi integrada a funcionalidade de comparar nuvens de pontos. Para a integração foi necessária a criação de um menu principal.



Figura 42 – Interface gráfica do ecrã do menu na 7ª milestone

A *dropdown* para a seleção da língua foi deslocada para o canto inferior direito, de forma a interface gráfica ficar consistente entre janelas.



Figura 43 – Interface gráfica do ecrã das medições na 7ª *milestone*

Para a funcionalidade das Comparações foi desenvolvida a interface abaixo (Figura 44).

O utilizador seleciona a pasta com as nuvens de pontos que deseja comparar. Após selecionar a pasta, o utilizador pode selecionar a cabeça que deseja no *dropdown*. Posteriormente, o utilizador clica em iniciar comparação. Poucos minutos depois, é apresentado o resultado. O utilizador pode ver as duas nuvens de pontos para visualizar onde as cabeças divergem.



Figura 44 – Interface gráfica do ecrã das comparações na 7ª *milestone*

#### 6.4.8 Interface na 8ª milestone

Com a adição da persistência de dados em base de dados, veio a necessidade de proteger os dados dos pacientes e dos utilizadores. De forma a resolver essa necessidade foi adicionada autenticação.

Na Figura 45 podemos ver o Ecrã de Login. Esta interface permite ao utilizador inserir o seu nome de utilizador e palavra-passe para se autenticar. Ela também permite ao utilizador pedir que a aplicação se lembre dos seus dados de autenticação da próxima vez que o utilizador usar a aplicação.



Figura 45 – Interface gráfica do ecrã de login na 8ª milestone

Na Figura 46 podemos visualizar a interface gráfica do ecrã principal. O ecrã principal contém uma lista das nuvens de pontos existentes na base de dados e botões para acessar às funcionalidades de importar e comparar nuvens de pontos.

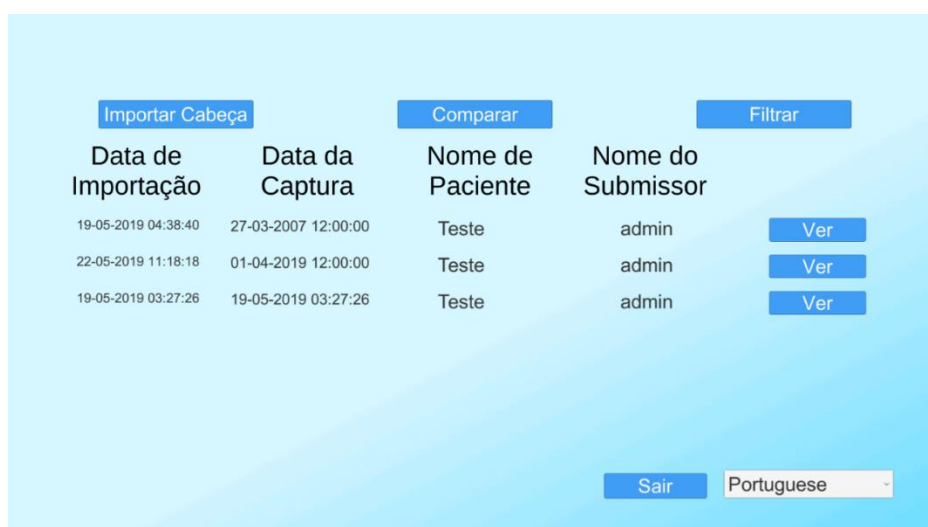


Figura 46 – Interface gráfica do ecrã principal na 8ª *milestone*

Ao clicar no botão “Filtrar”, acedemos à janela de diálogo de Filtrar, como podemos ver na Figura 47. Com a janela de diálogo de Filtrar, o utilizador pode filtrar ou pesquisar por nuvens de pontos específicas. Também permite ao utilizador ordenar as nuvens de pontos por diversos fatores.

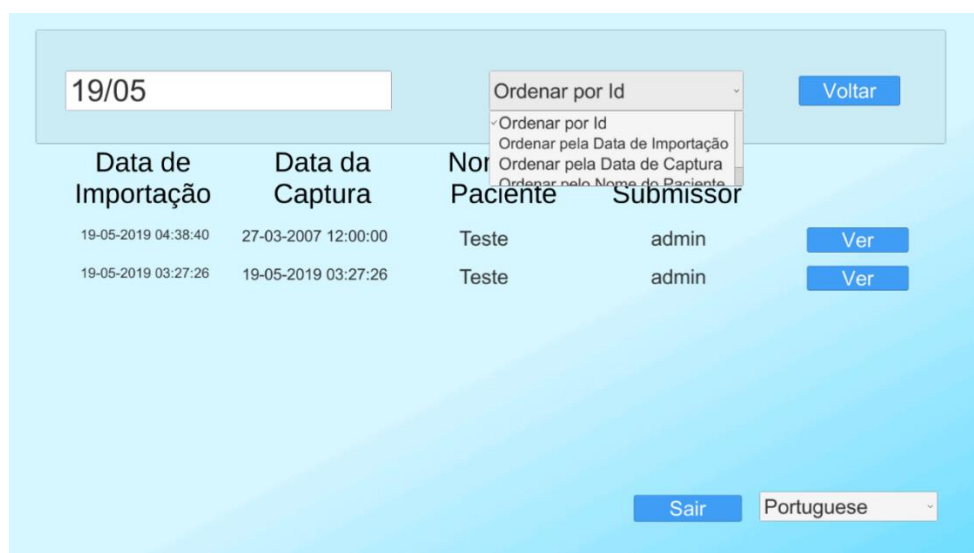


Figura 47 – Interface gráfica da janela de diálogo de filtrar na 8ª *milestone*

Na Figura 48 podemos visualizar a interface gráfica do ecrã de Visualização. Este ecrã é dedicado à visualização da nuvem de pontos e suas informações. Também permite a exportação da nuvem de pontos.





Figura 48 – Interface gráfica do ecrã de visualização da nuvem de pontos na 8ª *milestone*

A interface gráfica do ecrã de Importação, visualizada na Figura 49, é dedicada na importação e persistência da nuvem de pontos e suas informações.

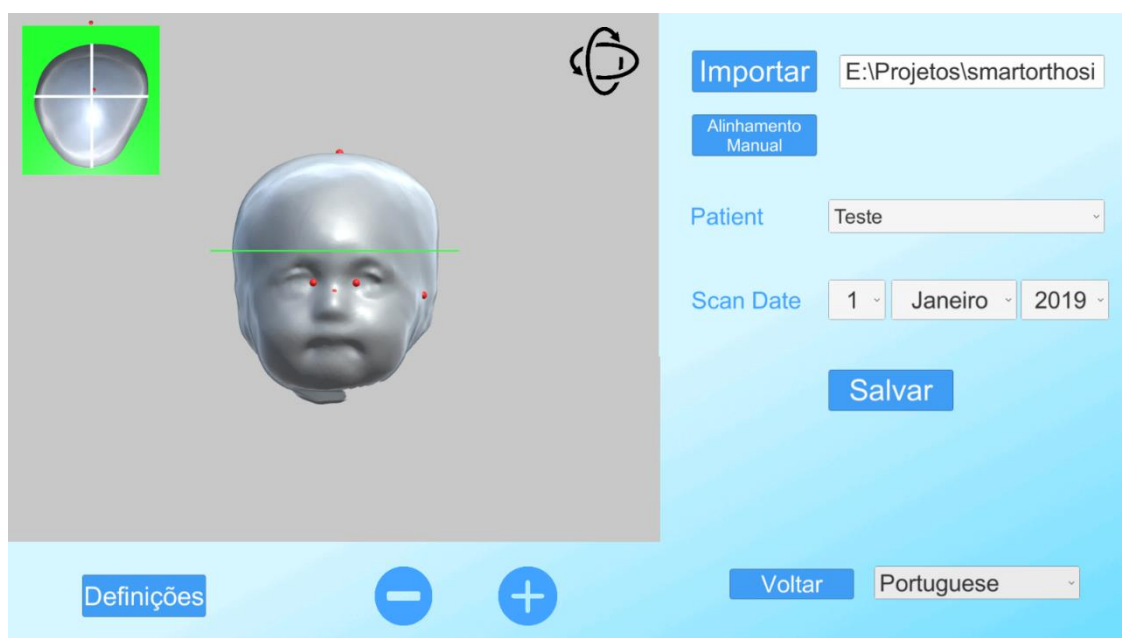


Figura 49 – Interface gráfica do ecrã de importação na 8ª *milestone*

Com a adição da base de dados, deixou de ser necessário importar todas as nuvens de pontos que o utilizador deseja comparar, passando o utilizador seleccionar as nuvens de pontos a partir de uma scroll view com a lista de nuvens de pontos.

A interface gráfica do ecrã de comparação pode ser consultada na Figura 50.

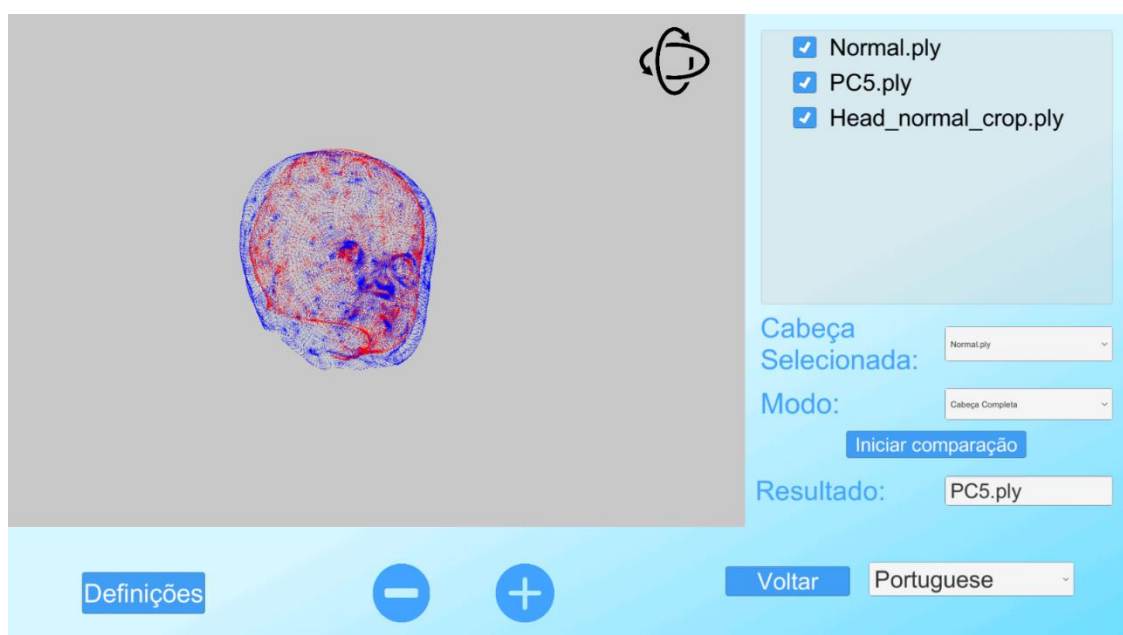


Figura 50 – Interface gráfica do ecrã de comparação na 8ª milestone

#### 6.4.9 Interface na 9ª milestone

Foram realizadas diversas alterações estéticas, nomeadamente a adição de sombras nos elementos interativos.

De forma a que o utilizador possa registar a sua conta de utilizador no sistema foram adicionados um botão e um formulário.

Foram acrescentadas opções de personalização da interface gráfica para o utilizador, nomeadamente a personalização do fundo e da cor dos textos. Estas opções foram inseridas no menu de definições cujo botão encontra-se no canto superior direito.

Devido ao principal objetivo desta interação foi a melhoria do aspeto gráfico, houve a sugestão de trocar o texto da *dropdown* das línguas por bandeiras, e assim tornando a interação mais agradável visualmente. Mas isso não seria o mais correto devido a bandeiras representarem países e não línguas, podendo assim confundir ou ofender utilizadores.

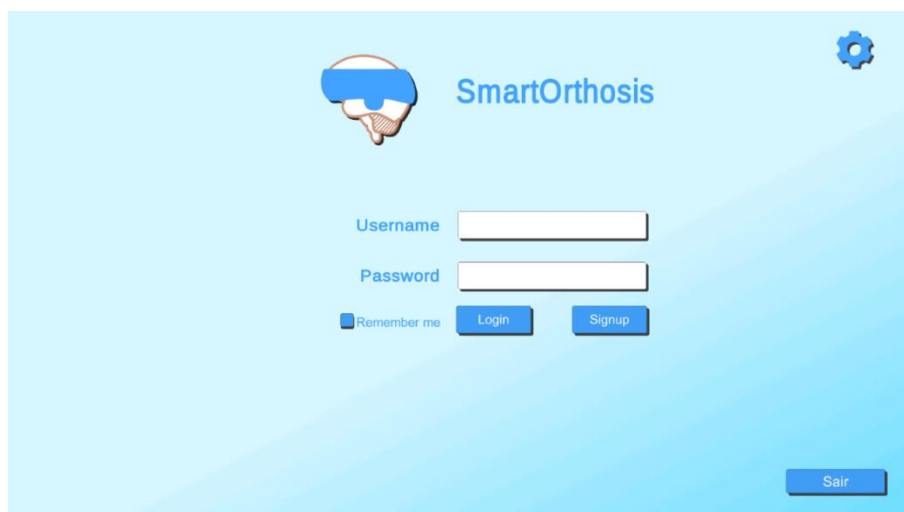


Figura 51 – Interface gráfica do ecrã de login na 9ª *milestone*

Por exemplo, o português é tanto falado em Portugal como no Brasil, ao colocar qualquer uma das bandeiras pode ofender utilizadores de outros países.

Outro exemplo, é o inglês que surgiu na Inglaterra, mas a bandeira da Inglaterra é pouco conhecida e é muitas vezes confundida com a bandeira do Reino Unido, sendo que no Reino Unido existe outras línguas, como o escocês. Podendo assim causando assim imensa confusão [61].

Com isto, foi decidido alterar a *dropdown* das línguas, de forma a seguir os guias de *User Experience* que se acredita hoje em dia [62], através da utilização do nome da língua traduzida na própria língua.

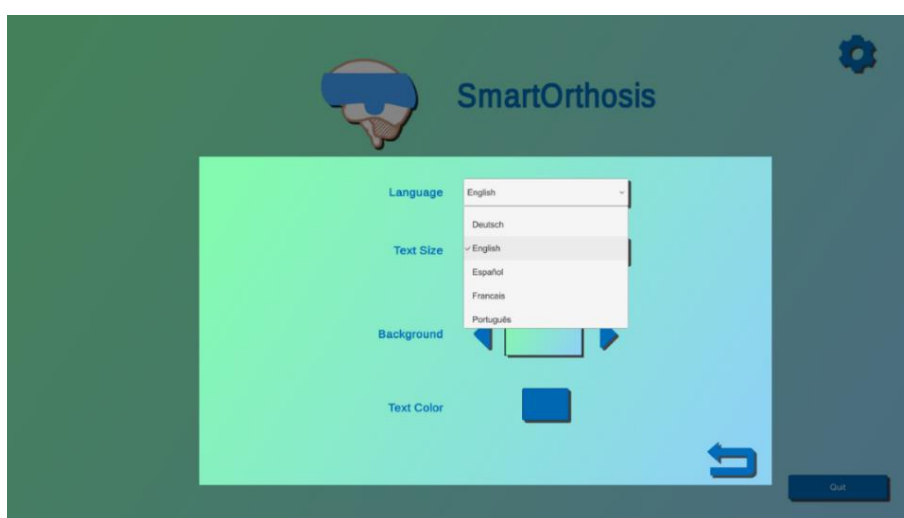


Figura 52 – Interface gráfica das definições na 9ª *milestone* (I)

Foi acrescentada a possibilidade de o utilizador mudar a aparência da interface gráfica de forma a ficar segundo as suas preferências. Foi acrescentada a hipótese do utilizador alterar o tamanho e a cor da letra do elementos da interface gráfica. Também foi adicionada a funcionalidade de trocar a imagem do fundo da interface gráfica da aplicação.

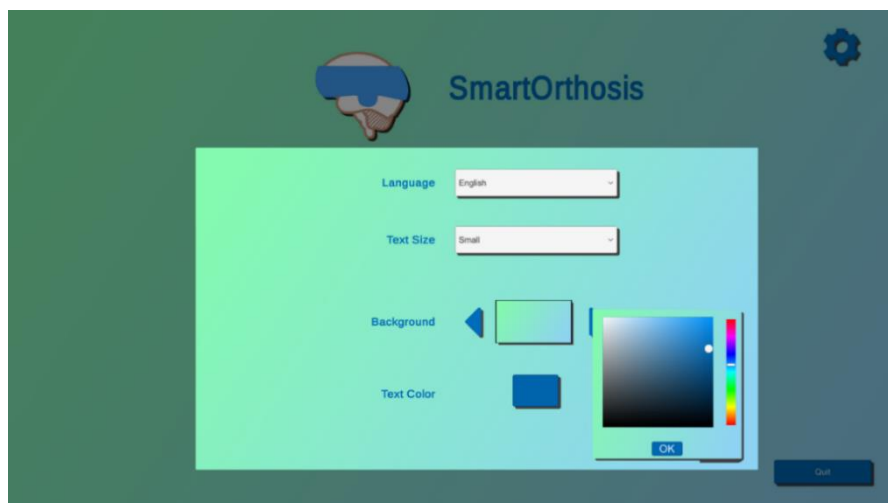


Figura 53 - Interface gráfica das definições na 9ª milestone (II)

## 6.5 Backend

Foi desenvolvido um *backend* REST que está encarregado de fazer a comunicação entre a aplicação e a base de dados. Os métodos que o *backend* disponibiliza podem ser consultados na Tabela 3.

Tabela 3 – Métodos do backend

Método	Caminho	Descrição
Post	Api/Users/Authenticate	<p>O backend recebe através deste caminho os pedidos de autenticação dos utilizadores.</p> <p>No corpo do pedido é enviado um json com o username e a password do utilizador.</p> <pre>{   "Username": "admin",   "Password": "12345" }</pre> <p>O backend ao receber o username e a password, cria o hash da password recebida e compara com o hash</p>

		<p>da password que está na base de dados. Ao confirmar que os dados de autenticação estão corretos, o método retorna o token da sessão do utilizador.</p>
<b>Post</b>	Api/Users/Register	<p>Este método lida com os pedidos de registo de utilizador.</p> <p>O corpo do pedido recebe os dados do utilizador em formato json.</p> <pre> {   "Username":"admin",   "Email":"admin@admin.com",   "Password":"12345" } </pre> <p>Ao receber os dados, o backend cria o hash da password utilizando salt gerado aleatoriamente com o algoritmo HMACSHA512, de forma a aumentar a segurança da hash.</p>
<b>Get</b>	Api/Patients	<p>Este método retorna a lista de todos pacientes existentes na base de dados.</p> <p>Este método utiliza o header Authorization com o token da sessão do utilizador de forma a aumentar a segurança do backend.</p>
<b>Get</b>	Api/Patients/{id}	<p>Com este método o utilizador consegue visualizar em mais detalhe os dados do paciente.</p> <p>Este método utiliza o header Authorization com o token da sessão do utilizador de forma a aumentar a segurança do backend.</p>
<b>Post</b>	Api/Patients	<p>Este método permite ao utilizador inserir um novo paciente.</p> <p>O pedido recebe os dados do utilizador no formato json.</p> <pre> {   "name": "José Pereira",   "birthday": "2012-12-12T12:12:12" } </pre> <p>Este método utiliza o header Authorization com o token da sessão do utilizador de forma a aumentar a segurança do backend.</p>

<b>Get</b>	Api/Heads	<p>Com este método o utilizador recebe uma lista de nuvens de pontos com o mínimo de informação (nome de submissor, nome do paciente, data de captura e data de captura).</p> <p>Este método utiliza o header Authorization com o token da sessão do utilizador de forma a aumentar a segurança do backend.</p>
<b>Put</b>	Api/Heads/{id}	<p>Com este método o utilizador pode atualizar as informações de uma nuvem de pontos em específico que ele enviou.</p> <p>Este utiliza o header Authorization com o token da sessão do utilizador de forma a aumentar a segurança do backend. Apenas o submissor da nuvem de pontos consegue usar este método.</p>
<b>Post</b>	Api/Heads	<p>Este método permite ao utilizador enviar as informações de uma nuvem de pontos nova.</p> <p>Este método utiliza o header Authorization com o token da sessão do utilizador de forma a aumentar a segurança do backend.</p>
<b>Post</b>	Api/Comparations	<p>O backend permite guardar as informações da comparação, nomeadamente a nuvem de pontos selecionada, a lista de nuvens de pontos a comparar, o modo de comparação e a nuvem de pontos resultados.</p> <p>Este método permite guardar as informações de forma a mais tarde poder consultá-las.</p> <p>Este método utiliza o header Authorization com o token da sessão do utilizador de forma a aumentar a segurança do backend.</p>
<b>Post</b>	Api/Comparations/{id}	<p>Este método permite ao utilizador verificar se uma comparação já foi feita anteriormente. O campo id do caminho refere-se ao identificador da nuvem de pontos selecionada e no corpo do pedido é enviado uma lista de identificadores das nuvens de pontos a comparar e o modo de comparação.</p> <p>Com este método, é possível poupar tempo de execução quando se repete uma comparação que foi feita anteriormente.</p> <p>Este método utiliza o header Authorization com o token da sessão do utilizador de forma a aumentar a segurança do backend.</p>



## Capítulo 7. Avaliação da solução

De forma a garantir a qualidade da solução desenvolvida, foram adotadas diversas metodologias de forma a avaliar diversas perspectivas, nomeadamente a adaptabilidade e funcionalidade.

Este capítulo irá inicialmente apresentar o *Qualitative Evaluation Framework* (QEF) com as dimensões e requisitos utilizados para avaliar a solução.

Posteriormente são apresentados os testes funcionais, os resultados do questionário realizado e os testes de hipóteses realizados de forma a obter dados para a avaliação de cada requisito do QEF.

### 7.1 QEF

O *Qualitative Evaluation Framework* (QEF) é uma ferramenta que permite medir quantitativamente a qualidade de um sistema.

Ela utiliza um plano multidimensional, normalmente tridimensional, para representar o progresso das dimensões. No caso deste projeto, serão avaliadas a Funcionalidade, Adaptabilidade e Eficiência.

Cada dimensão é dividida em fatores. Estes fatores estão divididos em diversos requisitos.



Os requisitos têm um peso específico, de forma a assinalar os requisitos mais importantes e os menos importantes. Cada requisito tem associadas métricas de avaliação, isto permite medir com precisão a percentagem do requisito que foi cumprido.

De forma a avaliar os requisitos, serão usadas diversas fontes de informação, nomeadamente testes funcionais, questionários e teste de hipóteses.

Tabela 4 – Dimensão “Funcionalidade” do QEF

<b>Fator</b>	<b>Requisito</b>	<b>Cumprimento do requisito</b>	<b>Fonte de informação</b>
<b>Nuvem de pontos</b>	FPC01 - Importar nuvem de pontos de uma cabeça	100	Teste funcional (Tabela 7)
	FPC02 – Exportar nuvem de pontos de uma cabeça com todas correções	100	Teste funcional (Tabela 8)
	FPC03 - Correção da posição da nuvem de pontos	100	Teste funcional (Tabela 9)
	FPC04 - Correção da rotação da nuvem de pontos	100	Teste funcional (Tabela 10)
	FPC05 – Persistir a nuvem de pontos e suas informações	100	Teste funcional (Tabela 11)
<b>Paciente</b>	FP01 – Adicionar paciente	100	Teste funcional (Tabela 12)
	FP02 – Selecionar paciente	100	Teste funcional (Tabela 13)
<b>Fator</b>	<b>Requisito</b>	<b>Cumprimento do requisito</b>	<b>Fonte de informação</b>
<b>Autenticação</b>	FA01 – Autenticar utilizador	100	Teste funcional (Tabela 14)
<b>Deteção de pontos</b>	FPD01 – Deteção dos cantos dos olhos	100	Teste funcional (Tabela 15)
	FPD02 - Deteção do sellion	100	Teste funcional (Tabela 16)
	FPD03 - Deteção dos tragions	80	Teste funcional (Tabela 17)
	FPD04 - Deteção do ponto traseiro	100	Teste funcional (Tabela 18)
	FPD05 - Deteção do ponto do topo da cabeça	100	Teste funcional (Tabela 19)

<b>Medidas</b>	FM01 - Definição do plano 3	100	Teste funcional (Tabela 20)
	FM02 - Cálculo da circunferência	100	Teste de hipóteses (Secção 7.4.1)
	FM03 - Cálculo da largura craniana	80	Teste de hipóteses (Secção 7.4.2)
	FM04 - Cálculo do comprimento craniano	100	Teste de hipóteses (Secção 7.4.3)
	FM05 - Cálculo do índice cefálico	100	Teste de hipóteses (Secção 7.4.4)
	FM06 - Cálculo da diferença das diagonais	100	Teste de hipóteses (Secção 7.4.5)
	FM07 - Cálculo do offset das orelhas	100	Teste de hipóteses (Secção 7.4.6)
	FM08 - Cálculo do índice de assimetria cranial anterior	100	Teste de hipóteses (Secção 7.4.7)
	FM09 - Cálculo do índice de assimetria Cranial Posterior	100	Teste de hipóteses (Secção 7.4.8)
<b>Comparação</b>	FC01 – Comparação usando toda a informação da cabeça	100	Teste funcional (Tabela 21)
	FC02 – Comparação usando apenas 3 níveis	100	Teste funcional (Tabela 22)
	FC03 – Persistir comparação	100	Teste funcional (Tabela 23)

Tabela 5 – Dimensão “Adaptabilidade” do QEF

<b>Fator</b>	<b>Requisito</b>	<b>Cumprimento do requisito</b>	<b>Fonte de informação</b>
<b>Versatilidade</b>	AV01 – Língua da interface de acordo com a língua selecionada	100	Teste funcional (Tabela 24)
	AV02- Aplicação ajusta-se à resolução da janela	58	Questionário (Secção 7.3.3)
<b>Manutenção</b>	AM01- Aplicação não guarda dados sensíveis	74	Questionário (Secção 7.3.1)

Tabela 6 – Dimensão “Usabilidade” do QEF

<b>Fator</b>	<b>Requisito</b>	<b>Cumprimento do requisito</b>	<b>Fonte de informação</b>
<b>Navegação do menu</b>	UM01 - Produto tem uma boa estrutura e permite aos utilizadores acessarem conteúdos de uma forma intuitiva	58	Questionário (Secção 7.3.3)
	UM02 – Interface da aplicação é simples e rápida	86	Questionário (Secção 7.3.2)
	UM03 – A aplicação não apresenta erros durante a sua execução e erros inesperados são tratados	86	Questionário (Secção 7.3.4)
	UM04 – Sistema de navegação põe o utilizador no controlo	58	Questionário (Secção 7.3.3)
<b>Qualidade dos conteúdos</b>	UCQ01 - Textos estão bem escritos e todas as frases fazem total sentido	100	Questionário (Secção 7.3.5)
	UCQ02 – Todas as mensagens são fáceis de entender, são humanas e não-ofensivas	100	Questionário (Secção 7.3.5)
	UCQ03 – Todas as ações têm feedback	90.6	Questionário (Secção 7.3.6)

Realizando os cálculos, obtemos que a solução apresenta uma percentagem final de qualidade de 89%.

## 7.2 Testes funcionais

Ao longo do desenvolvimento da solução foram realizados testes funcionais, de forma a descobrir possíveis erros ou bugs o mais célere possível.

### 7.2.1 Teste funcional ao requisito FPC01

A Tabela 7 contém o teste funcional realizado para a importação da nuvem de pontos com informações de uma cabeça.

É testado se a aplicação consegue obter as informações corretas do ficheiro selecionado, não havendo nenhum erro de apresentação.

Tabela 7 – Teste funcional ao requisito FPC01

<b>Tarefas</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Clicar no botão “Importar Cabeça” do ecrã principal;</li><li>2. Clicar no botão “Importar”;</li><li>3. Selecionar um ficheiro ply de uma nuvem de pontos com informações de uma cabeça;</li></ol>
<b>Resultado Esperado</b>	A nuvem de pontos é corretamente importada. Podendo ser visualizada do lado esquerdo, na vista principal e na vista de topo.
<b>Resultado</b>	Sucesso

### 7.2.2 Teste funcional ao requisito FPC02

Na Tabela 8 é possível visualizar o teste funcional da exportação da cabeça. Será verificado que a nuvem de pontos é corretamente exportada para um ficheiro.

Tabela 8 – Teste funcional ao requisito FPC02

<b>Tarefas</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Selecionar botão “Ver” em uma das nuvens de pontos do ecrã principal;</li> <li>2. Clicar no botão “Exportar”;</li> <li>3. Selecionar a localização e o nome do ficheiro;</li> </ol>
<b>Resultado Esperado</b>	A nuvem de pontos é corretamente exportada, aparecendo o ficheiro no caminho e com o nome escolhido.
<b>Resultado</b>	Sucesso

### 7.2.3 Teste funcional ao requisito FPC03

Este teste funcional é verificado com uma nuvem de pontos original e com uma reimportada (exportada e posteriormente importada), de forma a verificar se todos os dados foram importados corretamente. O teste pode ser consultado na Tabela 9.

Tabela 9 – Teste funcional ao requisito FPC03

<b>Tarefas</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Após importar uma nuvem de pontos, verificar se a nuvem está corretamente centrada;</li> </ol>
<b>Resultado Esperado</b>	A nuvem de pontos está corretamente centrada, estando no centro da vista principal e vista de topo.
<b>Resultado</b>	Sucesso

### 7.2.4 Teste funcional ao requisito FPC04

O objetivo deste teste funcional é verificar o alinhamento da nuvem de pontos. Este teste será igualmente realizado usando uma nuvem de pontos original e uma reimportada. O teste funcional pode ser visualizado na Tabela 10.

Tabela 10 – Teste funcional ao requisito FPC04

<b>Tarefas</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Após importar uma nuvem de pontos, verificar se a nuvem está corretamente alinhada;</li> <li>2. Caso não esteja, clicar no botão “Alinhamento Manual”;</li> <li>3. Selecionar os cantos dos olhos na nuvem de pontos;</li> <li>4. Clicar no botão “Alinhar”.</li> </ol>
<b>Resultado Esperado</b>	A nuvem de pontos é corretamente alinhada, com todos os pontos nos locais corretos.
<b>Resultado</b>	No dataset 1 e 2, o algoritmo consegue alinhar automaticamente, não sendo necessário realizar os passos 2,3 e 4. Algumas das nuvens do dataset 3 necessitam de realizar o processo completo.

### 7.2.5 Teste funcional ao requisito FPC05

Na Tabela 11 é possível visualizar o teste funcional à persistência na base de dados das nuvens de pontos. Será verificado se todas informações da nuvem de pontos foram persistidas.

Tabela 11 – Teste funcional ao requisito FPC05

<b>Tarefas</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Importar uma nuvem de pontos;</li> <li>2. Selecionar o paciente;</li> <li>3. Inserir a data de captura;</li> <li>4. Clicar no botão “Salvar”.</li> </ol>
<b>Resultado Esperado</b>	A nuvem de pontos foi persistida com todas as suas informações. A nuvem de pontos estará listada no ecrã principal
<b>Resultado</b>	Sucesso

### 7.2.6 Teste funcional ao requisito FP01

O objetivo deste teste de uso, que se pode visualizar na Tabela 12, é verificar se a adição de pacientes. Será verificado se após adição, todas as informações relativas ao paciente foram persistidas.

Tabela 12 – Teste funcional ao requisito FP01

<b>Tarefas</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Após importar a nuvem de pontos, selecionar “- Adicionar Paciente”;</li><li>2. Inserir os dados do paciente;</li><li>3. Clicar no botão “Salvar”.</li></ol>
<b>Resultado Esperado</b>	O paciente estará listado na dropdown dos pacientes.
<b>Resultado</b>	Sucesso

### 7.2.7 Teste funcional ao requisito FP02

Este teste funcional é dedicado a verificar se a dropdown é preenchida com a lista de todos pacientes existentes na base de dados. É possível consultar o teste funcional na Tabela 13.

Tabela 13 – Teste funcional ao requisito FP02

<b>Tarefas</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Após importar a nuvem de pontos, clicar na dropdown “Selecionar Paciente”.</li></ol>
<b>Resultado Esperado</b>	A dropdown estará corretamente preenchida com a lista de todos pacientes
<b>Resultado</b>	Sucesso

### 7.2.8 Teste funcional ao requisito FA01

O objetivo deste teste funcional é verificar a autenticação do utilizador. O teste funcional pode ser consultado na Tabela 14.

Tabela 14 – Teste funcional ao requisito FA01

<b>Tarefas</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Inserir o username e a password;</li><li>2. Clicar no botão “Lembrar”;</li><li>3. Clicar no botão “Login”.</li></ol>
<b>Resultado Esperado</b>	O utilizador autentica-se com sucesso e os dados de autenticação ficam guardados entre sessões.
<b>Resultado</b>	Sucesso

### 7.2.9 Teste funcional ao requisito FPD01

A Tabela 15 contém o teste funcional sobre a deteção dos cantos dos olhos da nuvem de pontos. Será verificado se os cantos dos olhos foram corretamente detetados e apresentados.

Tabela 15 – Teste funcional ao requisito FPD01

<b>Tarefas</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. No ecrã principal, clicar no botão “Ver” de uma das nuvens de pontos.</li></ol>
<b>Resultado Esperado</b>	O utilizador visualiza que os cantos dos olhos estão corretamente detetados
<b>Resultado</b>	Sucesso

### 7.2.10 Teste funcional ao requisito FPD02

O objetivo do teste funcional descrito na Tabela 16 é verificar a deteção e a apresentação do *sellion* da nuvem de pontos.



Tabela 16 – Teste funcional ao requisito FPD02

<b>Tarefas</b>	1. No ecrã principal, clicar no botão “Ver” de uma das nuvens de pontos.
<b>Resultado Esperado</b>	O utilizador visualiza que o <i>sellion</i> está corretamente detetado
<b>Resultado</b>	Sucesso

### 7.2.11 Teste funcional ao requisito FPD03

A Tabela 17 contém o teste funcional sobre a deteção dos *tragions* da nuvem de pontos. Será validado se os *tragions* foram corretamente detetados e apresentados.

Tabela 17 – Teste funcional ao requisito FPD03

<b>Tarefas</b>	1. No ecrã principal, clicar no botão “Ver” de uma das nuvens de pontos.
<b>Resultado Esperado</b>	O utilizador visualiza que os <i>tragions</i> estão corretamente detetados
<b>Resultado</b>	Sucesso

### 7.2.12 Teste funcional ao requisito FPD04

O objetivo do teste funcional descrito na Tabela 18 é verificar a correta deteção e apresentação do ponto traseiro da nuvem de pontos.

Tabela 18 – Teste funcional ao requisito FPD04

<b>Tarefas</b>	1. No ecrã principal, clicar no botão “Ver” de uma das nuvens de pontos.
<b>Resultado Esperado</b>	O utilizador visualiza que o ponto traseiro está corretamente detetado
<b>Resultado</b>	Sucesso

### 7.2.13 Teste funcional ao requisito FPD05

A Tabela 19 contém o teste funcional sobre a deteção do ponto do topo da nuvem de pontos. Será validado se o topo da cabeça foi corretamente detetado e apresentado.

Tabela 19 – Teste funcional ao requisito FPD05

<b>Tarefas</b>	1. No ecrã principal, clicar no botão “Ver” de uma das nuvens de pontos.
<b>Resultado Esperado</b>	O utilizador visualiza que o ponto do topo da cabeça está corretamente detetado
<b>Resultado</b>	Sucesso

### 7.2.14 Teste funcional ao requisito FM01

O objetivo deste teste funcional é verificar se o cálculo e apresentação do plano 3 da nuvem de pontos estão corretos. O teste pode ser consultado na Tabela 20.

Tabela 20 – Teste funcional ao requisito FM01

<b>Tarefas</b>	1. No ecrã principal, clicar no botão “Ver” de uma das nuvens de pontos.
<b>Resultado Esperado</b>	O utilizador visualiza que o plano 3 da nuvem de pontos está corretamente posicionado
<b>Resultado</b>	Sucesso

### 7.2.15 Teste funcional ao requisito FC01

Neste teste é necessário executar a aplicação com a *flag* Windows ativada, de forma a aparecer a janela da linha de comandos.

O objetivo deste teste funcional é verificar o correto funcionamento da comparação no Modo Completo. O teste pode ser visualizado na Tabela 21.

Tabela 21 – Teste funcional ao requisito FC01

<b>Tarefas</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Selecionar as nuvens de pontos;</li> <li>2. Selecionar a nuvem de referência;</li> <li>3. Selecionar o Modo Completo;</li> <li>4. Clicar Iniciar Comparação.</li> </ol>
<b>Resultado Esperado</b>	A comparação é realizada usando o script <code>complete_head.R</code>
<b>Resultado</b>	Sucesso

### 7.2.16 Teste funcional ao requisito FC02

Neste teste é necessário executar a aplicação com a *flag* Windows ativada, de forma a aparecer a janela da linha de comandos.

Com este teste funcional pretende-se testar o Modo dos Planos 3, 4 e 5, verificando o correto funcionamento do mesmo. O teste pode ser consultado na Tabela 22.

Tabela 22 – Teste funcional ao requisito FC02

<b>Tarefas</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Selecionar as nuvens de pontos;</li> <li>2. Selecionar a nuvem de referência;</li> <li>3. Selecionar o Modo Planos 3,4 e 5;</li> <li>4. Clicar Iniciar Comparação.</li> </ol>
<b>Resultado Esperado</b>	A comparação é realizada usando o script <code>layers_3_4_5_hausdorff.R</code>
<b>Resultado</b>	Sucesso

### 7.2.17 Teste funcional ao requisito FC03

O objetivo deste teste funcional é verificar se é realizada a persistência da comparação e se é utilizada numa próxima vez. O teste pode ser consultado na Tabela 23.

Tabela 23 – Teste funcional ao requisito FC03

<b>Tarefas</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Realizar uma comparação;</li> <li>2. Realizar uma segunda comparação usando os mesmos parâmetros que a primeira comparação.</li> </ol>
<b>Resultado Esperado</b>	A comparação foi corretamente persistida e utilizada numa próxima vez
<b>Resultado</b>	Sucesso

### 7.2.18 Teste funcional ao requisito AV01

A Tabela 24 contém o teste funcional sobre a deteção do ponto do topo da nuvem de pontos. Será validado se o topo da cabeça foi corretamente detetado e apresentado.

Tabela 24 – Teste funcional ao requisito AV01

<b>Tarefas</b>	1. O utilizador seleciona a qualquer momento uma das línguas do <i>dropdown</i>
<b>Resultado Esperado</b>	A língua de todos os elementos de texto é alterada
<b>Resultado</b>	Sucesso

## 7.3 Questionário

A solução será avaliada através de um questionário (Anexo C) de forma a verificar a usabilidade e adaptabilidade.

O grupo de testes era constituído por 43 estudantes do Instituto de Ciências Biomédicas Abel Salazar (ICBAS). O grupo continha membros de ambos sexos, embora o número de utilizadores do sexo masculino fosse superior.

A sessão foi dividida em duas partes: em uma parte era feita uma pequena apresentação sobre a condição; numa segunda parte, o indivíduo experimentava a aplicação e preenchia o questionário.

### 7.3.1 Avaliação à existência de dados sensíveis

Podemos visualizar na Figura 54 que todas as pessoas deram respostas positivas. Houve 3 pessoas, correspondente a 7.0%, que se abstiveram da sua resposta. 74.4% das pessoas (32 pessoas) consideram que a aplicação mantém um nível bom ou excelente de privacidade do paciente.

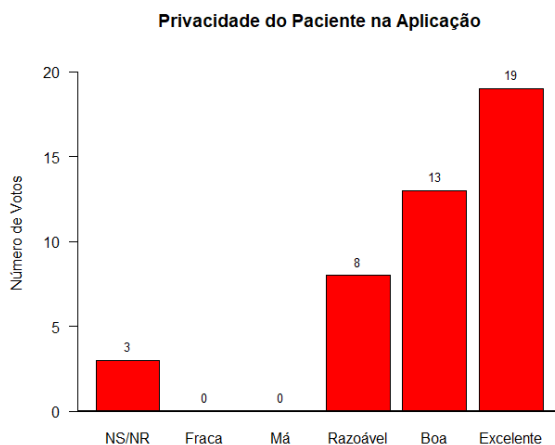


Figura 54 – Gráfico de barras da privacidade do paciente na aplicação

### 7.3.2 Avaliação à facilidade de utilização

Na Figura 55 é possível visualizar que a maioria das pessoas considera que a aplicação apresenta uma excelente facilidade de utilização (25 pessoas, correspondendo a 58.1%). Se considerarmos também as pessoas que responderam que a aplicação tem uma boa facilidade de uso, obtemos o valor de 86% para uma facilidade igual ou acima de boa.

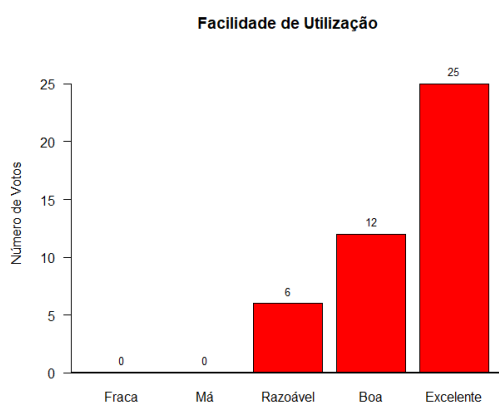


Figura 55 – Gráfico de barras de facilidade de utilização

### 7.3.3 Avaliação à interface gráfica

Na Figura 56 é possível ver que mais de metade das pessoas (58%, correspondente a 25 pessoas) consideram que os elementos estão com um tamanho perfeito.

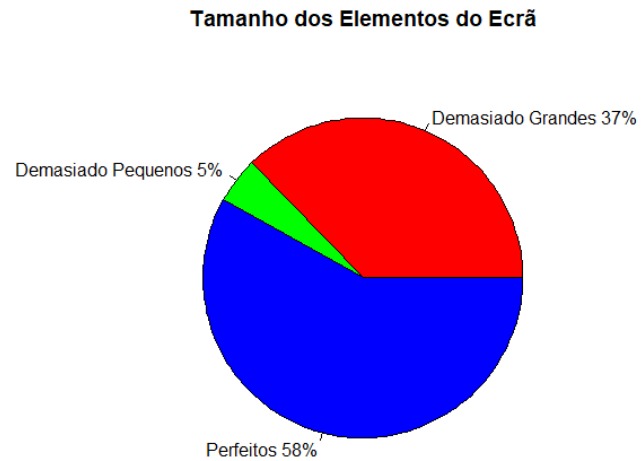


Figura 56 – Gráfico circular sobre a dimensão dos elementos do ecrã

### 7.3.4 Avaliação à existência de erros

Consultando a Figura 57 é possível verificar que 86% das pessoas, correspondente a 37 pessoas, não encontraram algum erro enquanto testaram a aplicação.



Figura 57 – Gráfico circular da existência de erros

### 7.3.5 Avaliação dos textos

Na Figura 58 podemos visualizar que nenhuma pessoa encontrou alguma mensagem incorreta ou ofensiva.



Figura 58 – Gráfico circular sobre mensagens incorretas ou ofensivas

### 7.3.6 Avaliação do feedback

Na Figura 59 podemos visualizar que 39 pessoas (correspondente a 90.7% da amostra) afirmam que a qualidade de feedback é boa ou excelente.

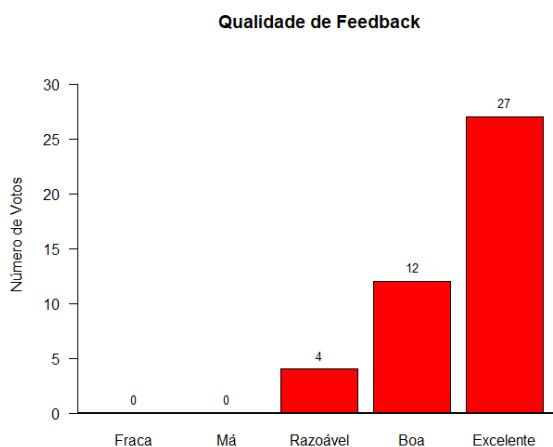


Figura 59 – Diagrama de barras sobre a qualidade de feedback

### 7.3.7 Avaliação do ecrã de medidas

Analisando a Figura 60 é possível verificar que 36 pessoas, que corresponde a 83.7% da amostra, considera que o ecrã das medidas tem uma qualidade boa ou excelente.

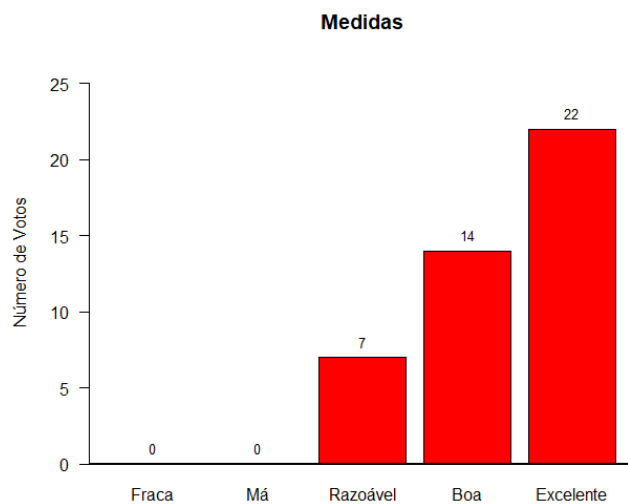


Figura 60 – Gráfico de barras sobre o ecrã das medidas

### 7.3.8 Avaliação do ecrã da comparação

Na Figura 61 é possível verificar que 33 pessoas, que corresponde a 76.7% da amostra, considera que o ecrã da comparação tem uma qualidade boa ou excelente.

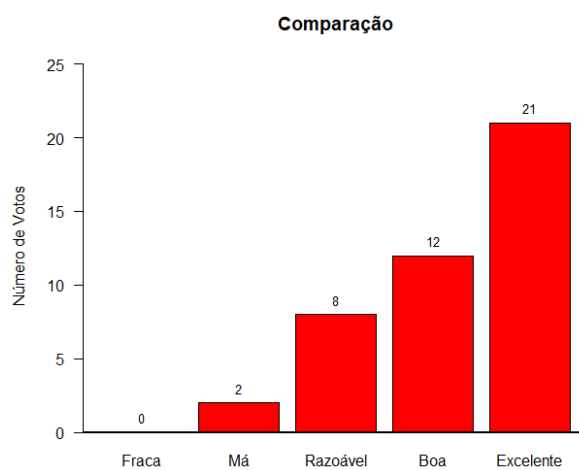


Figura 61 – Gráfico de barras sobre o ecrã de comparação



### 7.3.9 Análise dos comentários finais

Foram recolhidos 7 comentários com sugestões interessantes de como melhorar a aplicação. Houve 4 comentários a pedir uma opção para redimensionar os elementos da interface gráfica. Um comentário sugeriu a adição de uma opção de visualizar a nuvem de pontos por camadas. Outro comentário afirmou que seria interessante ter escalas na visualização da nuvem de pontos.

## 7.4 Teste de hipóteses

A hipótese em teste permitirá perceber se a aplicação cumpriu ou não o seu objetivo.

O principal objetivo deste projeto é automatizar o processo de medição de cabeças, logo é necessário assegurar que a exatidão das medidas obtidas é igual à exatidão das medidas obtidas manualmente.

Assim a hipótese em teste poderá ser definida como:

**Hipótese nula (H0):** O método automático tem a mesma exatidão que o método manual.

$$Média_{Manual} = Média_{Automática}$$

Equação 10 – Equação da hipótese nula

**Hipótese alternativa (H1):** O método automático tem um nível de exatidão diferente do método manual

$$Média_{Manual} \neq Média_{Automática}$$

Equação 11 – Equação da hipótese alternativa

Devido a não terem sido dadas as medições para os dois primeiros datasets, foram medidas manualmente usando o software Meshlab. Os dados manuais do terceiro dataset foi obtido através da média das duas observações realizadas por médicos.

### 7.4.1 Teste de hipóteses à circunferência

Para realizar o teste de hipóteses à diferença de médias da circunferência craniana vai ser usado o teste T de Student. Como o tamanho da amostra é superior a 30, através do Teorema do Limite Central, podemos assumir que a população é normal e assim ser possível aplicar o teste T. Na Tabela 25, podemos visualizar as medições da circunferência obtidas manualmente e de forma automatizada.

Tabela 25 – Medidas da circunferência

<b>Dataset</b>	<b>Medida manual</b>	<b>Medida automática</b>
<b>Dataset 1</b>	540	540.5
	446	447.6
	435	434.8
	423	421.1
	434	435.5
	426	422.6
	429	426.0
	423	422.7
	505	504.5
	420	421.1
	545	546.1
<b>Dataset 2</b>	526	525.9
	503	503.4
	432	432.4
	460	460.4
	501	500.0
	424	424.0
	479	479.9
	833	833.5
	732	732.6
	456	456.2
	449	449.4
<b>Dataset3</b>	545.4	550.0
	632.4	631.3
	616.9	520.0
	590.23	553.3
	504.6	480.9
	363.8	370.6
	566.5	563.2

	626.0	645.1
	694.2	706.0
	474.4	479.9

Para a realização do teste de hipóteses é necessário estabelecer as hipóteses:

$$H_0: Média_{CircunferênciaManual} = Média_{CircunferênciaAutomática}$$

$$H_1: Média_{CircunferênciaManual} \neq Média_{CircunferênciaAutomática}$$

Com a aplicação do teste, observa-se que o p-value é igual a 0.305.

Para que se possa aceitar a hipótese nula ( $H_0$ ) é necessário que p-value seja superior ao grau de significância ( $\alpha$ ). Por norma,  $\alpha$  é estabelecido como 0.05.

Neste caso, como o p-value é superior ao grau de significância, aceita-se a hipótese nula e rejeita-se a hipótese alternativa. Ou seja, pode-se afirmar que não existe diferença significativa entre as medidas obtidas de forma manual e as medidas obtidas de forma automática.

#### 7.4.2 Teste de hipóteses à largura craniana

Para realizar o teste de hipóteses à diferença de médias da largura craniana vai ser usado o teste T de Student.

Como o tamanho da amostra é superior a 30, através do Teorema do Limite Central, podemos assumir que a população é normal e assim ser possível aplicar o teste T.

Na Tabela 26, podemos visualizar as medições da largura obtidas manualmente e de forma automatizada.

Tabela 26 – Medidas da largura craniana

Dataset	Medida manual	Medida automática
Dataset 1	153	153.6
	123	122.6
	121	120.7
	119	118.6
	120	122.0
	119	119.8
	121	121.3

	120	120.8
	122	122.1
	119	119.7
	156	156.1
<b>Dataset 2</b>	132	132.6
	133	133.1
	126	126.6
	128	128.8
	133	133.0
	117	117.9
	132	132.8
	140	140.2
	112	112.6
	130	130.1
<b>Dataset3</b>	116	116.5
	135.3	140.4
	134.2	134.4
	128.6	128.7
	126.6	123.9
	116.6	116.1
	120.8	127.8
	137.9	138.1
	153.3	156.2
	131.1	132.3
137.4	141.2	

Para a realização do teste de hipóteses é necessário estabelecer as hipóteses:

$$H_0: Média_{LarguraManual} = Média_{LarguraAutomática}$$

$$H_1: Média_{LarguraManual} \neq Média_{LarguraAutomática}$$

Com a aplicação do teste, observa-se que o p-value é igual a 0.01082.

Para que se possa aceitar a hipótese nula ( $H_0$ ) é necessário que p-value seja superior ao grau de significância ( $\alpha$ ). Por norma,  $\alpha$  é estabelecido como 0.05.

Neste caso, como o p-value é inferior ao grau de significância, rejeita-se a hipótese nula e aceita-se a hipótese alternativa. Ou seja, pode-se afirmar que existe diferença significativa entre as medidas obtidas de forma manual e as medidas obtidas de forma automática.

### 7.4.3 Teste de hipóteses ao comprimento craniano

Para realizar o teste de hipóteses à diferença de médias do comprimento craniano vai ser usado o teste T de Student.

Como o tamanho da amostra é superior a 30, através do Teorema do Limite Central, podemos assumir que a população é normal e assim ser possível aplicar o teste T.

Na Tabela 27, podemos visualizar as medições do comprimento craniano obtidas manualmente e de forma automatizada.

Tabela 27 – Medidas do comprimento craniano

<b>Dataset</b>	<b>Medida manual</b>	<b>Medida automática</b>
<b>Dataset 1</b>	190	190.3
	151	151.7
	150	149.9
	149	148.8
	149	149.3
	147	147.3
	150	150.3
	145	145.8
	153	152.5
	146	146.0
<b>Dataset 2</b>	188	188.8
	149	149.2
	150	150.1
	147	147.0
	143	143.2
	144	144.1
	131	131.9
	137	137.3
	152	152.1
	126	126.8
<b>Dataset3</b>	143	143.9
	139	139.9
	167.1	166.2
	165.0	161.9
	151.6	151.6
	148.4	144.5
143.8	143.5	
129.9	136.8	

	169.9	163.9
	196.7	186.6
	160.4	163.3
	173.6	163.1

Para a realização do teste de hipóteses é necessário estabelecer as hipóteses:

$$H_0: Média_{ComprimentoManual} = Média_{ComprimentoAutomático}$$

$$H_1: Média_{ComprimentoManual} \neq Média_{ComprimentoAutomático}$$

Com a aplicação do teste, observa-se que o p-value é igual a 0.3392.

Para que se possa aceitar a hipótese nula ( $H_0$ ) é necessário que p-value seja superior ao grau de significância ( $\alpha$ ). Por norma,  $\alpha$  é estabelecido como 0.05.

Neste caso, como o p-value é superior ao grau de significância, aceita-se a hipótese nula e rejeita-se a hipótese alternativa. Ou seja, pode-se afirmar que não existe diferença significativa entre as medidas obtidas de forma manual e as medidas obtidas de forma automática.

#### 7.4.4 Teste de hipóteses ao índice cefálico

Para realizar o teste de hipóteses à diferença de médias do índice cefálico vai ser usado o teste T de Student.

Como o tamanho da amostra é superior a 30, através do Teorema do Limite Central, podemos assumir que a população é normal e assim ser possível aplicar o teste T.

Na Tabela 28, podemos visualizar as medições do índice cefálico obtidas manualmente e de forma automatizada.

Tabela 28 – Medidas do índice cefálico

Dataset	Medida manual	Medida automática
<b>Dataset 1</b>	81	80.7
	81	80.9
	80	80.5
	80	79.7
	82	81.7
	81	81.4

	80	80.7
	82	82.8
	80	80.0
	82	82.0
	82	82.7
<b>Dataset 2</b>	88	88.9
	90	88.6
	86	86.1
	91	90.0
	92	92.3
	89	89.4
	96	96.7
	92	92.2
	88	88.8
	90	90.4
<b>Dataset3</b>	83	83.3
	80.8	84.5
	81.3	83.0
	84.8	84.9
	85.3	85.8
	81.1	80.9
	93.0	93.5
	81.1	84.3
	77.9	83.7
	81.7	81.0
79.2	86.6	

Para a realização do teste de hipóteses é necessário estabelecer as hipóteses:

$$H_0: Média_{ÍndiceCefálicoManual} = Média_{ÍndiceCefálicoAutomático}$$

$$H_1: Média_{ÍndiceCefálicoManual} \neq Média_{ÍndiceCefálicoAutomático}$$

Com a aplicação do teste, observa-se que o p-value é igual a 0.01794.

Para que se possa aceitar a hipótese nula ( $H_0$ ) é necessário que p-value seja superior ao grau de significância ( $\alpha$ ). Por norma,  $\alpha$  é estabelecido como 0.05.

Neste caso, como o p-value é inferior ao grau de significância, rejeita-se a hipótese nula e aceita-se a hipótese alternativa. Ou seja, pode-se afirmar que existe diferença significativa entre as medidas obtidas de forma manual e as medidas obtidas de forma automática. Isto é derivado

ao índice cefálico ser uma medida secundária, ao melhorar a exatidão da largura, a do índice cefálico também melhorará.

#### 7.4.5 Teste de hipóteses à diferença das diagonais

Para realizar o teste de hipóteses à diferença de médias das diferenças das diagonais vai ser usado o teste T de Student.

Como o tamanho da amostra é superior a 30, através do Teorema do Limite Central, podemos assumir que a população é normal e assim ser possível aplicar o teste T.

Na Tabela 29, podemos visualizar as medições da diferença das diagonais obtidas manualmente e de forma automatizada.

Tabela 29 – Medidas da diferença das diagonais

<b>Dataset</b>	<b>Medida manual</b>	<b>Medida automática</b>
<b>Dataset 1</b>	1	0.0
	5	5.5
	1	1.6
	4	4.6
	2	0.5
	5	5.5
	0	0.4
	4	4.3
	1	0.6
	1	1.6
	2	2.8
<b>Dataset 2</b>	0	0.1
	8	7.9
	17	19.3
	26	26.0
	31	31.7
	2	2.0
	1	0.5
	35	35.3
	4	4.3
	1	0.9
1	0.3	
<b>Dataset3</b>	2.8	5.0



	7.1	3.0
	4.6	6.5
	0.9	2.0
	1.3	0.3
	4.3	5.4
	4.4	20.0
	11.7	51.1
	8.3	8.5
	4.1	0.3

Para a realização do teste de hipóteses é necessário estabelecer as hipóteses:

$$H_0: \text{Média}_{\text{DiferençaDiagonaisManual}} = \text{Média}_{\text{DiferençaDiagonaisAutomático}}$$

$$H_1: \text{Média}_{\text{DiferençaDiagonaisManual}} \neq \text{Média}_{\text{DiferençaDiagonaisAutomático}}$$

Com a aplicação do teste, observa-se que o p-value é igual a 0.1953.

Para que se possa aceitar a hipótese nula ( $H_0$ ) é necessário que p-value seja superior ao grau de significância ( $\alpha$ ). Por norma,  $\alpha$  é estabelecido como 0.05.

Neste caso, como o p-value é superior ao grau de significância, aceita-se a hipótese nula e rejeita-se a hipótese alternativa. Ou seja, pode-se afirmar que não existe diferença significativa entre as medidas obtidas de forma manual e as medidas obtidas de forma automática.

#### 7.4.6 Teste de hipóteses ao offset das orelhas

Para realizar o teste de hipóteses à diferença de médias das diferenças das diagonais vai ser usado o teste T de Student.

Como o tamanho da amostra é superior a 30, através do Teorema do Limite Central, podemos assumir que a população é normal e assim ser possível aplicar o teste T.

Na

Tabela 30, podemos visualizar as medições do offset das orelhas obtidas manualmente e de forma automatizada.

Tabela 30 – Medidas do offset das orelhas

<b>Dataset</b>	<b>Medida manual</b>	<b>Medida automática</b>
<b>Dataset 1</b>	5	0.0
	14	14.0
	6	5.6
	3	3.5
	12	12.0
	11	11.9
	5	5.1
	14	14.6
	1	1.9
	9	9.9
<b>Dataset 2</b>	7	7.8
	1	0.4
	2	2.6
	113	113.8
	113	113.5
	113	113.8
	2	1.8
	1	1.1
	112	112.3
	1	1.1
<b>Dataset3</b>	4	4.0
	0	0.1
	4.4	0.4
	7.6	5.0
	2.9	16.0
	17.1	15.8
	3.1	19.9
	6.0	1.5
	2.2	60.5
	3.4	6.3
4.6	7.6	
3.8	14.5	

Para a realização do teste de hipóteses é necessário estabelecer as hipóteses:

$$H_0: Média_{offsetOrelhasManual} = Média_{offsetOrelhasAutomático}$$

$$H_1: Média_{OffsetOrelhasManual} \neq Média_{OffsetOrelhasAutomático}$$

Com a aplicação do teste, observa-se que o p-value é igual a 0.1418.

Para que se possa aceitar a hipótese nula ( $H_0$ ) é necessário que p-value seja superior ao grau de significância ( $\alpha$ ). Por norma,  $\alpha$  é estabelecido como 0.05.

Neste caso, como o p-value é superior ao grau de significância, aceita-se a hipótese nula e rejeita-se a hipótese alternativa. Ou seja, pode-se afirmar que não existe diferença significativa entre as medidas obtidas de forma manual e as medidas obtidas de forma automática.

#### 7.4.7 Teste de hipóteses ao índice de assimetria cranial anterior

Para realizar o teste de hipóteses à diferença de médias do índice de assimetria cranial anterior vai ser usado o teste T de Student.

Como o tamanho da amostra é superior a 30, através do Teorema do Limite Central, podemos assumir que a população é normal e assim ser possível aplicar o teste T.

Na Tabela 31, podemos visualizar as medições do índice de assimetria cranial anterior obtidas manualmente e de forma automatizada.

Tabela 31 – Medidas do índice de assimetria cranial anterior

Dataset	Medida manual	Medida automática
Dataset 1	0	0.1
	9	8.7
	4	4.3
	1	1.5
	3	3.8
	2	2.9
	3	3.3
	17	17.8
	20	20.7
	17	17.6
Dataset 2	37	37.7
	5	5.3
	18	18.6
	15	15.2
	2	2.1

	21	21.8
	5	5.2
	13	13.2
	32	32.0
	2	2.6
	0	0.9
	1	0.5
<b>Dataset3</b>	5.0	22.9
	11.8	15.4
	7.2	14.0
	16.5	2.8
	3.3	4.8
	8.9	12.0
	2.2	6.3
	14.4	10.5
	6.7	8.3
	2.1	8.7

Para a realização do teste de hipóteses é necessário estabelecer as hipóteses:

$$H_0: Média_{AssimetriaAnteriorManual} = Média_{AssimetriaAnteriorAutomático}$$

$$H_1: Média_{AssimetriaAnteriorManual} \neq Média_{AssimetriaAnteriorAutomático}$$

Com a aplicação do teste, observa-se que o p-value é igual a 0.161.

Para que se possa aceitar a hipótese nula ( $H_0$ ) é necessário que p-value seja superior ao grau de significância ( $\alpha$ ). Por norma,  $\alpha$  é estabelecido como 0.05.

Neste caso, como o p-value é superior ao grau de significância, aceita-se a hipótese nula e rejeita-se a hipótese alternativa. Ou seja, pode-se afirmar que não existe diferença significativa entre as medidas obtidas de forma manual e as medidas obtidas de forma automática.

#### 7.4.8 Teste de hipóteses ao índice de assimetria cranial posterior

Para realizar o teste de hipóteses à diferença de médias do índice de assimetria cranial posterior vai ser usado o teste T de Student.

Como o tamanho da amostra é superior a 30, através do Teorema do Limite Central, podemos assumir que a população é normal e assim ser possível aplicar o teste T.

Na

Tabela 32, podemos visualizar as medições do índice de assimetria cranial posterior obtidas manualmente e de forma automatizada.

Tabela 32 – Medidas do índice de assimetria cranial posterior

<b>Dataset</b>	<b>Medida manual</b>	<b>Medida automática</b>
<b>Dataset 1</b>	0	0.3
	6	5.9
	12	12.1
	4	3.9
	3	2.5
	7	7.5
	8	8.1
	13	13.9
	34	34.5
	19	19.4
	28	28.4
<b>Dataset 2</b>	0	0.5
	1	1.4
	11	11.7
	23	23.0
	3	3.0
	16	16.5
	9	9.5
	4	4.4
	13	13.1
	3	3.4
	10	10.5
<b>Dataset3</b>	3.4	34.3
	4.1	10.6
	12.6	17.5
	1.3	8.2
	7.7	4.2
	16.7	4.1
	3.1	3.9
	4.1	1.0
	5.0	8.4
	3.9	10.6

Para a realização do teste de hipóteses é necessário estabelecer as hipóteses:

$$H_0: Média_{AssimetriaPosteriorManual} = Média_{AssimetriaPosteriorAutomático}$$

$$H_1: Média_{AssimetriaPosteriorManual} \neq Média_{AssimetriaPosteriorAutomático}$$

Com a aplicação do teste, observa-se que o p-value é igual a 0.1949.

Para que se possa aceitar a hipótese nula ( $H_0$ ) é necessário que p-value seja superior ao grau de significância ( $\alpha$ ). Por norma,  $\alpha$  é estabelecido como 0.05.

Neste caso, como o p-value é superior ao grau de significância, aceita-se a hipótese nula e rejeita-se a hipótese alternativa. Ou seja, pode-se afirmar que não existe diferença significativa entre as medidas obtidas de forma manual e as medidas obtidas de forma automática.



## Capítulo 8. Conclusões e trabalho futuro

Este capítulo irá inicialmente apresentar os objetivos concretizados, de acordo com os objetivos estabelecidos anteriormente. Posteriormente é apresentado outros trabalhos realizados no contexto do projeto, nomeadamente dois *papers* e as respetivas apresentações. Finalmente, será descrito as limitações atuais da solução, os motivos dessas limitações e o trabalho futuro que terá que ser desenvolvido de forma a combater essas limitações.

### 8.1 Objetivos realizados

O objetivo do trabalho desenvolvido consistia em construir uma solução com interface gráfica capaz de contribuir para a automatização do processo de criação de uma ortótese para plagiocefalia posicional.

Com a solução e sua interface gráfica de suporte desenvolvida é possível fazer toda a gestão dos pacientes e suas nuvens de pontos. Sendo possível acompanhar a evolução da condição de um paciente e visualizar as suas medidas. Na sessão de testes realizada, os participantes demonstraram curiosidade e interesse pela solução desenvolvida, propondo diversas pequenas melhorias na interface gráfica de forma a ter a melhor experiência possível.



A solução foi desenvolvida de forma a ser facilmente escalável e/ou integrada em outros sistemas, através de diversas técnicas.

## 8.2 Outros trabalhos realizados

Para além do desenvolvimento da solução, foram realizados outros trabalhos no contexto do projeto.

Foi enviado um artigo científico para a 18ª Conferência Internacional em Sistemas Híbridos Inteligentes (HIS 2018). A conferência realizou-se entre 13 e 15 de dezembro de 2018, no edifício E do ISEP. A apresentação do artigo foi realizada no dia 14 de dezembro. O artigo pode ser consultado no Anexo A.

Também houve uma participação na P. Porto Research Workshops. O evento decorreu no dia 3 de abril de 2019, nas instalações do ISEP. Foi realizada uma apresentação técnica do projeto no auditório do edifício H [63] e posteriormente uma apresentação de posters na sala de conferências do edifício A. Foi também enviado um *paper* que pode ser consultado no Anexo B.

## 8.3 Limitações e trabalho futuro

Uma das principais limitações no estado atual do projeto é de ser em alguns casos necessário realizar um alinhamento manual ou refinar algum ponto de referência.

Esta limitação pode ser corrigida no futuro utilizando *machine learning*. Atualmente não é possível implementar eficazmente *machine learning* devido ao reduzido número de nuvens de pontos que temos disponíveis. E também devido aos *datasets* terem propriedades bastante diferentes como a densidade de pontos, ruído e idade do paciente, impossibilitando o treino e a criação do modelo treinado.

Estava planeado obter um quarto dataset com cerca de duzentas nuvens de pontos. Este dataset ainda não foi recebido devido a estar em um formato proprietário da máquina utilizada para a captura das mesmas. Quando este dataset for recebido, a hipótese de usar técnicas de machine learning para a deteção dos pontos de referência torna-se bastante boa.

Como é expectável de qualquer aplicação com interface gráfica, existe sempre alterações que se pode fazer à interface gráfica de forma a melhorar a experiência do utilizador ou para atualizar o aspeto, nomeadamente as alterações sugeridas na sessão de testes.



## Referências

- [1] ‘Nuvem de pontos’, *Wikipédia, a enciclopédia livre*. 10-May-2019.
- [2] ‘What is point cloud? - Definition from WhatIs.com’, *WhatIs.com*. [Online]. Available: <https://whatis.techtarget.com/definition/point-cloud>. [Accessed: 12-Oct-2019].
- [3] ‘Plagiocefalia’, *Wikipédia, a enciclopédia livre*. 14-May-2019.
- [4] ‘Positional Plagiocephaly – Symptoms, Diagnosis and Treatment’. [Online]. Available: <https://www.aans.org/>. [Accessed: 21-Aug-2019].
- [5] S. Kluba, W. Kraut, S. Reinert, and M. Krimmel, ‘What Is the Optimal Time to Start Helmet Therapy in Positional Plagiocephaly?’, *Plastic and Reconstructive Surgery*, vol. 128, no. 2, p. 492, Aug. 2011.
- [6] ‘American Academy of Pediatrics AAP Task Force on Infant Positioning and SIDS: Positioning and SIDS’, *Pediatrics*, vol. 89, no. 6 Pt 1, pp. 1120–1126, Jun. 1992.
- [7] ‘Síndrome de morte súbita do lactente (SMSL)’, *Mãe-Me-Quer*, 21-Feb-2018. .
- [8] A. Mawji, A. R. Vollman, J. Hatfield, D. A. McNeil, and R. Sauvé, ‘The incidence of positional plagiocephaly: a cohort study’, *Pediatrics*, vol. 132, no. 2, pp. 298–304, Aug. 2013.
- [9] W. C. Gump, I. S. Mutchnick, and T. M. Moriarty, ‘Complications associated with molding helmet therapy for positional plagiocephaly: a review’, *Neurosurgical Focus*, vol. 35, no. 4, p. E3, Oct. 2013.
- [10] ‘Medidas do crânio | Faculdade de Ciências Médicas’. [Online]. Available: <https://www.fcm.unicamp.br/fcm/neuropediatria-conteudo-didatico/exame-neurologico/medidas-do-cranio>. [Accessed: 10-Oct-2019].
- [11] L. H. Plank, B. Giavedoni, J. R. Lombardo, M. D. Geil, and A. Reisner, ‘Comparison of infant head shape changes in deformational plagiocephaly following treatment with a cranial remolding orthosis using a noninvasive laser shape digitizer’, *J Craniofac Surg*, vol. 17, no. 6, pp. 1084–1091, Nov. 2006.
- [12] ‘tragion - Wiktionary’. [Online]. Available: <https://en.wiktionary.org/wiki/tragion>. [Accessed: 07-Oct-2019].
- [13] ‘3D Facial Norms Technical Notes | FaceBase’. [Online]. Available: [https://www.facebase.org/facial\\_norms/notes/](https://www.facebase.org/facial_norms/notes/). [Accessed: 26-Jun-2018].
- [14] ‘Rhinoplasty Chapter | The Radix’, *Steiger Facial Plastic Surgery | Boca Raton Facelift, Rhinoplasty, Eyelid Surgery, Laser Skin, Fillers, Coolsculpting*, 30-Apr-2014. .
- [15] D. and C. by ProximateSolutions.com, ‘Regions of the Nose’, *Rhinoplasty Surgeon New York*. .
- [16] M. Y. Mommaerts and B. A. M. M. L. Moerenhout, ‘Reliability of clinical measurements used in the determination of facial indices’, *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, vol. 36, no. 5, pp. 279–284, Jul. 2008.
- [17] S. Ifflaender, M. Rüdiger, A. Koch, and W. Burkhardt, ‘Three-dimensional digital capture of head size in neonates—a method evaluation’, *PLoS one*, vol. 8, no. 4, p. e61274, 2013.
- [18] L. Zhigang, L. Xiao, and Z. Jinhuan, ‘Development/globalvalidation of a 6-month-old pediatric head finite element modeland application in investigation of drop-

- induced infant head injury’, *Computer methods and programs in biomedicine*, vol. 112, no. 3, pp. 309–319, 2013.
- [19] M. Khan *et al.*, ‘CRANIAL MEASUREMENTS; ESTIMATION OF STATURE FROM CRANIAL MEASUREMENTS’, vol. 22, pp. 1034–1038, Jan. 2015.
- [20] K. Smith *et al.*, ‘Automated Measurement of Skull Circumference, Cranial Index, and Braincase Volume from Pediatric Computed Tomography’, *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*, vol. 2013, pp. 3977–3980, 2013.
- [21] ‘Head circumference: MedlinePlus Medical Encyclopedia’. [Online]. Available: <https://medlineplus.gov/ency/article/002379.htm>. [Accessed: 08-Oct-2019].
- [22] ‘Índice cefálico’, *Wikipédia, a enciclopédia livre*. 24-Jun-2019.
- [23] ‘Cephalic Index - What do the numbers mean?’, *CAPPSKIDS*. .
- [24] ‘Value Analysis: Meaning, Phases, Merits and Limitations’, *Your Article Library*, 18-Apr-2015. .
- [25] ‘(PDF) Conceptualising “Value for the Customer”: An Attributional, Structural and Dispositional Analysis’. [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/228576532\\_Conceptualising\\_'Value\\_for\\_the\\_Customer'\\_An\\_Attributional\\_Structural\\_and\\_Dispositional\\_Analysis](https://www.researchgate.net/publication/228576532_Conceptualising_'Value_for_the_Customer'_An_Attributional_Structural_and_Dispositional_Analysis). [Accessed: 15-Feb-2019].
- [26] P. A. Koen *et al.*, *Fuzzy front end: effective methods, tools, and techniques*. Wiley, New York, NY, 2002.
- [27] ‘Figure 13. The New Concept Development (NCD)-model. (Koen et al., 2001)’, *ResearchGate*. [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/figure/The-New-Concept-Development-NCD-model-Koen-et-al-2001\\_fig12\\_324208591](https://www.researchgate.net/figure/The-New-Concept-Development-NCD-model-Koen-et-al-2001_fig12_324208591). [Accessed: 15-Feb-2019].
- [28] E. N. Trigueirão Sónia, ‘Cortes na saúde prejudicam doentes’. [Online]. Available: <https://www.cmjornal.pt/exclusivos/detalhe/cativacoes-afetaram-combate-as-doencas>. [Accessed: 15-Feb-2019].
- [29] A. Maia, ‘SNS deve ser poupado “a cortes orçamentais cegos”’, *PÚBLICO*. [Online]. Available: <https://www.publico.pt/2018/07/31/sociedade/noticia/sns-deve-ser-poupado-a-cortes-orcamentais-cegos-1839584>. [Accessed: 15-Feb-2019].
- [30] SAPO, ‘Obras da ala pediátrica do S. João arrancam a partir do fim do ano e duram dois anos’, *SAPO* 24. [Online]. Available: <https://24.sapo.pt/atualidade/artigos/obras-da-ala-pediatria-do-s-joao-arrancam-a-partir-do-fim-do-ano-e-duram-dois-anos>. [Accessed: 15-Feb-2019].
- [31] ‘Crianças passam frio nos contentores de pediatria do São João’. [Online]. Available: <https://www.sabado.pt/portugal/detalhe/doentes-passam-frio-nos-contentores-de-pediatria-do-sao-joao>. [Accessed: 15-Feb-2019].
- [32] Lusa, ‘Sindicatos dizem que greve teve adesão de 80%’, *PÚBLICO*. [Online]. Available: <https://www.publico.pt/2019/02/15/sociedade/noticia/sindicatos-greve-adesao-80-1862125>. [Accessed: 15-Feb-2019].
- [33] S. Neves, ‘Sindicato dos enfermeiros apela ao boicote às horas extra’, *PÚBLICO*. [Online]. Available: <https://www.publico.pt/2019/02/12/sociedade/noticia/sindicato-enfermeiros-horas-extra-1861759>. [Accessed: 15-Feb-2019].
- [34] ‘Guias Teóricos | Business Model Canvas’, *NOS*. [Online]. Available: <http://www.nos.pt/empresas/repositorio-informacao/criar-uma-empresa/guias-teoricos/Pages/business-model-canvas.aspx>. [Accessed: 15-Jan-2019].

- [35] D. Pereira, ‘O que é o Business Model Canvas’, *O Analista de Modelos de Negócios*, 08-Jul-2016. .
- [36] L. Argenta, ‘Clinical Classification of Positional Plagiocephaly’, *Journal of Craniofacial Surgery*, vol. 15, no. 3, p. 368, May 2004.
- [37] J. Spermon, R. Spermon-Marijnen, and W. Scholten-Peeters, ‘Clinical classification of deformational plagiocephaly according to Argenta: a reliability study’, *J Craniofac Surg*, vol. 19, no. 3, pp. 664–668, May 2008.
- [38] J.-F. Wilbrand *et al.*, ‘Clinical classification of infant nonsynostotic cranial deformity’, *J. Pediatr.*, vol. 161, no. 6, pp. 1120–1125, Dec. 2012.
- [39] ‘(PDF) A clinical tool to measure plagiocephaly in infants using a flexicurve: a reliability study’, *ResearchGate*. [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/274274241\\_A\\_clinical\\_tool\\_to\\_measure\\_plagiocephaly\\_in\\_infants\\_using\\_a\\_flexicurve\\_a\\_reliability\\_study](https://www.researchgate.net/publication/274274241_A_clinical_tool_to_measure_plagiocephaly_in_infants_using_a_flexicurve_a_reliability_study). [Accessed: 18-Jan-2019].
- [40] ‘FLEXICURVE RULER’. [Online]. Available: <http://www.parellisaddles.com/ProductDetails.asp?ProductCode=A%2DNH%2D FLEXICURVE>. [Accessed: 18-Jan-2019].
- [41] D. R. McKay *et al.*, ‘Measuring cranial vault volume with three-dimensional photography: a method of measurement comparable to the gold standard’, *J Craniofac Surg*, vol. 21, no. 5, pp. 1419–1422, Sep. 2010.
- [42] M. J. Spitzer, M. Kramer, F. W. Neukam, and E. Nkenke, ‘Validation of optical three-dimensional plagiocephalometry by computed tomography, direct measurement, and indirect measurements using thermoplastic bands’, *J Craniofac Surg*, vol. 22, no. 1, pp. 129–134, Jan. 2011.
- [43] R. J. R. de Sousa, ‘Análise automática de nuvens de pontos 3D de cabeças com Plagiocefalia Posicional’, 2018.
- [44] *UnityCsReference: Unity C# reference source code*. Unity Technologies, 2018.
- [45] ‘Products - Unity’. [Online]. Available: <https://unity3d.com/pt/unity>. [Accessed: 15-Feb-2019].
- [46] ‘ASP.NET Core’, *Wikipedia*. 23-May-2019.
- [47] K. Gupta, ‘Does Postgresql Match SQL Server in Terms of Performance and Scalability?’, *Web, Design, Programming*, 30-May-2018. [Online]. Available: <https://www.freelancinggig.com/blog/2018/05/30/does-postgresql-match-sql-server-in-terms-of-performance-and-scalability/>. [Accessed: 03-Jun-2019].
- [48] ‘PostgreSQL vs. SQL Server: Performance Comparison’. [Online]. Available: <https://www.enterprisedb.com/blog/postgresql-vs-microsoft-sql>. [Accessed: 03-Jun-2019].
- [49] ‘What PostgreSQL has over other open source SQL databases: Part I’, *Compose Articles*, 08-Oct-2015. [Online]. Available: <https://www.compose.com/articles/what-postgresql-has-over-other-open-source-sql-databases/>. [Accessed: 03-Jun-2019].
- [50] ‘PostgreSQL’, *Wikipédia, a enciclopédia livre*. 15-May-2019.
- [51] ‘PostgreSQL: Documentation: 6.3: What is Postgres?’ [Online]. Available: <https://www.postgresql.org/docs/6.3/c0101.htm>. [Accessed: 03-Jun-2019].
- [52] J. Albahari and B. Albahari, *C# 5.0 in a Nutshell: The Definitive Reference*. O’Reilly Media, Inc., 2012.
- [53] ‘R (linguagem de programação)’, *Wikipédia, a enciclopédia livre*. 06-Feb-2019.

- [54] FCA, ‘Introdução ao Design de Interfaces’. [Online]. Available: <https://www.fca.pt/pt/catalogo/informatica/design-multimedia/introducao-ao-design-de-interfaces/>. [Accessed: 08-Oct-2019].
- [55] ‘ISO 9241-11:2018(en), Ergonomics of human-system interaction — Part 11: Usability: Definitions and concepts’. [Online]. Available: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9241:-11:ed-2:v1:en>. [Accessed: 08-Oct-2019].
- [56] ‘INDES(20652): Aula 1’. [Online]. Available: <https://moodle.isep.ipp.pt/mod/resource/view.php?id=86461>. [Accessed: 08-Oct-2019].
- [57] D. A. Norman, *The psychology of everyday things*. New York, NY, US: Basic Books, 1988.
- [58] ‘1. Graphical User Interface - Layout and Design’. [Online]. Available: [http://www.e-cartouche.ch/content\\_reg/cartouche/ui\\_access/en/html/index.html](http://www.e-cartouche.ch/content_reg/cartouche/ui_access/en/html/index.html). [Accessed: 12-Oct-2019].
- [59] ‘Como criar sites grátis online com Wix, Webnode e outras plataformas | Notícias | TechTudo’. [Online]. Available: <https://www.techtudo.com.br/noticias/noticia/2013/10/como-criar-sites-gratis-online-com-wix-webnode-e-outras-plataformas.html>. [Accessed: 12-Oct-2019].
- [60] A. Myronenko and X. Song, ‘Point set registration: coherent point drift’, *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell*, vol. 32, no. 12, pp. 2262–2275, Dec. 2010.
- [61] ‘Why flags do not represent languages – Flags are not languages’.
- [62] ‘Best practice for presenting languages – Flags are not languages’.
- [63] ‘(29) P.PORTO TV | P.PORTO Research Workshops - YouTube’. [Online]. Available: <https://youtu.be/nyD0SlnQ0Ok?t=65>. [Accessed: 05-Jun-2019].

# Anexos





# Anexo A – Artigo enviado na conferência

## HIS

### Automatic Clinic Measures and Comparison of Heads using Point Clouds

Pedro Oliveira<sup>1</sup>, Ângelo Pinto<sup>1</sup>, António Vieira de Castro<sup>1,2</sup>, Fátima Rodrigues<sup>1,3</sup> and  
João Vilaça<sup>4</sup>, Pedro Morais<sup>4</sup> and Fernando Veloso<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Institute of Engineering – Polytechnic of Porto (ISEP/IPP), Portugal

<sup>2</sup> LAMU – Multimedia Laboratory

<sup>3</sup> Interdisciplinary Studies Research Center (IRSC)

<sup>4</sup> 2AI - Instituto Superior do Cávado e Ave, Braga, Portugal

{pmdso,ajlpa,avc,mfc}@isep.ipp.pt

{jvilaca,pmorais,fveloso}@ipca.pt

**Abstract.** Nowadays the necessity to automate processes is increasing. One of the areas where automation can help is medicine. This document shows a process of how to analyze a point cloud of a head to define reference points and extract important measures. It also describes a head comparison process to compare a base head with a set of heads and find out the most similar one. The extracted measures will be applied for the diagnose and treatment of positional plagiocephaly disease that affects babies. A solution, integrating different technologies, has a graphical interface to present the measures retrieved from the point clouds of the heads and the results of heads comparison. The interface allows the visualization of the point clouds of the heads and helps to see the difference between heads. With the auxiliary of this solution it is possible to create a more adequate orthosis to treat each patient with positional plagiocephaly.

**Keywords:** Point Clouds, Positional Plagiocephaly, Automatic Measures.

## 1 Introduction

The technology to capture a 3D representation of an object is increasingly more accessible and reliable. This makes possible to easily capture a 3D representation of an object. Therefore it is possible to use that representation for analysis of the object, in some cases it can help to identify medical conditions. This paper explains the process used to automatize the extraction of anthropometric measures from 3D point clouds of heads. The measures will be used to help the creation of an orthosis to treat positional plagiocephaly.

Positional plagiocephaly is a condition characterized by an asymmetrical distortion of the cranium. A baby's skull is not strong, so it can suffer deformations, which cause plagiocephaly. In severe deformations, to fix the problem, the baby may need to use an orthosis, that should be used when the baby has between 3 and 18 months of age [1]. The orthosis will allow the head to grow gently back into a normal shape. This treatment must be done early, before the fontanelles close and the cranium fuses together.

## 2 Point Clouds

Point clouds are a set of data points in space, represented in a coordinate system. They are generally produced by 3D scanners, which measure a large number of points on the external surface of the real-world object [2]. Point clouds can be used to create 3D meshes to be used in many fields including medical imaging, architecture and 3D printing. When point clouds need to be aligned with other point clouds a process called Point Set Registration [3] is usually used. The process of aligning multiple point clouds into a globally consistent model includes the merge or comparison of the point clouds. In this case it was not necessary to perform this process. The alignment was made through the detection of anthropometric reference points in the head. Knowing the x, y and z coordinates of some reference points it is possible to apply maths to determine other points. The alignment of heads was made rotating the heads relatively to those reference points, this process is detailed in section 3.

In this case study it was used a dataset with 11 point clouds. The point clouds were stored in PLY files, which represent 11 baby heads. PLY is a computer file format known as Polygon File Format. It's designed to store three-dimensional data from 3D scanners [4]. The graphical objects stored are described as a collection of vertices defined by the x, y and z coordinates. This format permits to define other properties like polygons, vertices, polygons' colours and normal vectors.

## 3 Point Recognition

In order to extract the cranial measures needed it was first necessary to identify some important reference points in the heads, such as the sellion, tragions and the top of the head. These points are shown in Fig. 1.

All the point clouds of the heads were initially in a different coordinate system, making it impossible to determine the skull measures. For that to be possible it was first indispensable to align the point clouds of the heads. This way heads are oriented in a well-defined coordinate system, which allows to know the orientation of the heads, to know, for instance, to which side is the head facing. Hence, the reference points are detected in an easier way, which helps to calculate head measurements.

To position the point clouds in the same place, it was calculated the mean point of all points in each point cloud. After that all heads were translated so that their center were positioned in the origin. After the translation process, the clouds had to be rotated to align them. To achieve that, the first step was to find the eye corners by finding the closest points to the mean point of each cloud. This was possible because the datasets provided had more definition in the face area, therefore the mean point was nearer the face, making the closest points to that mean point to be the eye corners.

To correctly align the point clouds, it was calculated the angle in x, y, and z axis from the vector between the center of the point cloud and eyes and the front vector (positive z axis). Centering and aligning the heads made it possible to detect other reference points more strictly. The point of the top of the head was detected as the point with maximum value in the y axis. The sellion was detected as the point in the middle of the eye corners [2].

In order to detect the tragions, it was first necessary to find the tragus points, also represented in Fig. 1. To calculate them it was found the local maximum in the x axis of the region of the ears, which corresponds to the most exterior points of the head in the ears area. With the tragus detected, the tragion was found as the local minimum in the x axis of the tragus region with a y coordinate greater than the tragus point. So, starting in the position of the tragus, it was searched in the above points for the most interior point of the head, the point with minimum x. Lastly, the back point of the head was detected by finding the point that was behind the sellion. The detected points are represented in Fig.1.

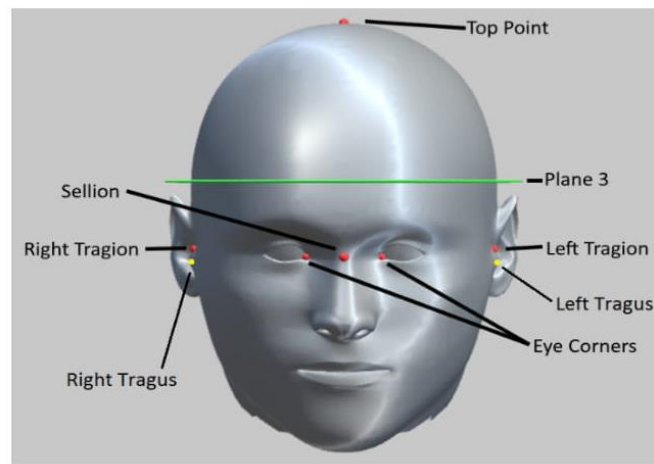


Fig. 1. Representation of the head showing the reference points and plane.

#### 4 Measures

To calculate the measures it was necessary to define some planes in the heads, the plane formed by the tragions, sellion and back point was named as plane 0. The head was divided in 12 equal planes (10 planes from plane 0 to top of the head and 2 planes bellow plane 0). The circumference of the head was measured in the plane 3. To calculate the circumference the points in plane 3 were detected. The circumference is equal to the sum of the distance between all those points. The calculation was made according to equation (1).

$$Cranium\ Circumference = \sum \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (z_1 - z_2)^2} \quad (1)$$

The cranial width and length were also calculated using the plane 3. The width was determined according to equation (2) and length according to equation (3).

$$Width = \max(x) - \min(x) \quad (2)$$

$$Length = \max(z) - \min(z) \quad (3)$$

The cephalic index was calculated by the ratio of the width to the length, applying the formula of equation (4).

$$Cephalic\ index = \frac{cranial\ width}{cranial\ length} \quad (4)$$

The diagonal difference was calculated by the difference of the diagonals of plane 3, using the equation (5).

$$Diagonals\ Difference = |diagonal_1 - diagonal_2| \text{ cm} \quad (5)$$

The ear offset was calculated as the difference of values in z between left and right tragions, applying equation (6).

$$Ear\ Offset = |leftTragium_z - rightTragium_z| \text{ cm} \quad (6)$$

The anterior and posterior cranial asymmetry index was measured using the following formula (7), where  $l$  is the larger quadrant volume and  $s$  is the smaller quadrant volume.

$$Cranial\ Aymetry\ index = \frac{(l-s)*100}{s} \% \quad (7)$$

The volume of each quadrant was determined as the sum of the tetrahedron formed by a triangle and the center of the cloud[6]. The formula used is shown in equation (8), where  $a, b, c$  are the points of the triangle and  $d$  the center of the cloud.

$$Volume_{tetrahedron} = \frac{|(a-d) \cdot ((b-d) \times (c-d))|}{6} \text{ cm}^3 \quad (8)$$

Using the presented formulas it was possible to calculate the wanted cranial measures. The calculated measures for 5 of the heads are presented in Table 1 and Table 2.

**Table 1.** First set of measures of the heads.

Heads	Cranial Circunference (mm)	Cranial Width (mm)	Cranial Length (mm)	Cephalic Index (%)
Normal	525.9	132.6	149.2	88.9
Head 1	503.4	133.1	150.1	88.6
Head 2	432.4	126.6	147.0	86.1
Head 3	460.4	128.8	143.2	90.0

**Table 2.** Second set of measures of the heads.

Heads	Diagonal Difference (mm)	Ear Offset (mm)	Anterior Cranial Asymmetry Index (%)	Posterior Cranial Asymmetry Index (%)
Normal	0.1	0.4	5.3	0.5
Head 1	7.9	2.6	18.6	1.4
Head 2	19.3	113.8	15.2	11.7
Head 3	26.0	113.5	2.1	23.0

## 5 Head comparison

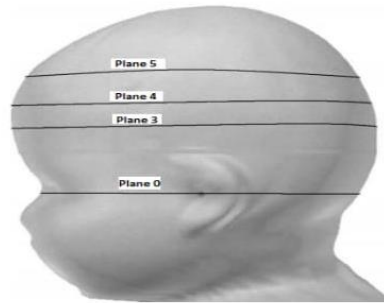
Another important step in the process of building an orthosis for treating plagiocephaly is to compare heads. When building a model for the orthosis, it is necessary to compare the head with plagiocephaly with models of normal heads. This is done to determine which of the normal models is more similar to the abnormal head. Thus, the orthosis can be made using a model that perfectly fits the head, providing a good development of the head's growth to a normal shape.

In order to compare heads' shapes, it was necessary to compare point clouds. There are different algorithms to compare point clouds, such as nearest neighbor, nearest neighbor with local modelling, normal shooting and iterative closest point (ICP) [7]. There are also other methods to compare shapes of objects like Procrustes analysis. Procrustes can be used to calculate the Procrustes distances between two objects. The distance calculated is a measure of shape difference between the two objects [8]. Another similar measure with Procrustes is the Hausdorff distance. Hausdorff distance has been applied in many areas, such as object matching, image processing and face detection [9]. This technique is often used to determine similarity between shapes [10]. If two shapes have a small Hausdorff distance between them they are more similar than if they had a big distance [11]. So, as with Procrustes distance, the smaller the distance the bigger the resemblance between shapes.

In order to compare heads, both Procrustes and Hausdorff distances were used. To be able to calculate the correct distance between two objects using these algorithms, these objects must have been previously aligned. This was not a problem in this case because the alignment of the heads had already been made for the extraction of head measurements. In this case study, a dataset of 3D scans with 11 baby heads was used. The dataset had 1 normal head and 10 abnormal heads with deformities. In this dataset it was only known the real similarity of head number 1 with the other heads, so the comparison could only be made in this case. Procrustes and Hausdorff distances were used to assess which of the heads was more similar to head number 1. In order to compare the shapes of the heads, different approaches could be made. Comparing all the points of the heads, comparing 2D planes or comparing just sections of the heads. In this case study, 3 experiments were made. In Experiment 1, Procrustes distance was calculated considering all points of the head. In Experiment 2 and 3, the points from three 2D planes above the eye level were used. In Experiment number 2,



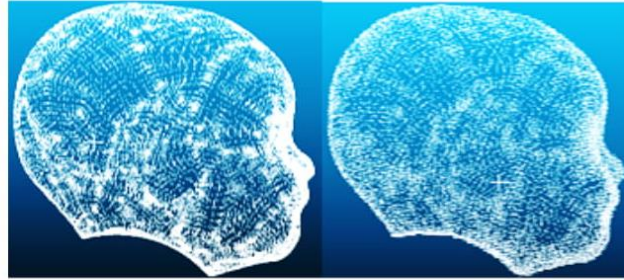
Procrustes distance was used and in the 3rd it was used Hausdorff distance. The planes used were the planes 3, 4 and 5 represented in Fig. 2. These planes were used as they represent sections of the head where many deformities are present in cases of plagiocephaly.



**Fig. 2.** Representation of the head planes. Adapted from [12].

To calculate the Procrustes distances between heads the software R [13] was used, along with “shapes” package [14], which has several functions for Procrustes analysis. Hausdorff distance was also determined using R software, using the “pracma” package [15]. To be able to compare heads, all heads must have the same number of points. Also, in Experiment 1, to use functions from “shapes” package, the number of points had to be reduced to 17000, more or less 30% of the original number. This had to be done because functions from “shapes” package are very demanding and require a lot of RAM to be executed. So, to execute these functions in most computers the number of points should not be higher than 17000. This creates a problem, as reducing the number of points in a point cloud can decrease the representation of the original model, especially if done randomly. To overcome this issue a technique called voxelization was used.

Voxelization algorithms are based on voxels. Voxels are the 3D equivalent of pixels [16], they are basically cubes that can contain points within them [17]. Voxelization can be described as “the process of producing a discrete 3D representation of an object” [18]. This technique is one of the simplest and easily understandable ways to transform 3D objects into regular structures, while keeping its original geometry and structure [19]. Voxelization of the baby heads was performed using “VoxR” package [20] of R software. After applying the voxelization algorithm it was possible to see that the head shape was the same, even though the point cloud had almost 70% less points. Fig. 3 shows the normal head of the dataset, where the head on the left is the original head and the head on the right is the head after voxelization. Voxelization was also used in Experiments 2 and 3. As the number of points in each plane have to be equal to compare heads, voxelization was used to reduce the number of points of each plane to an equal number.



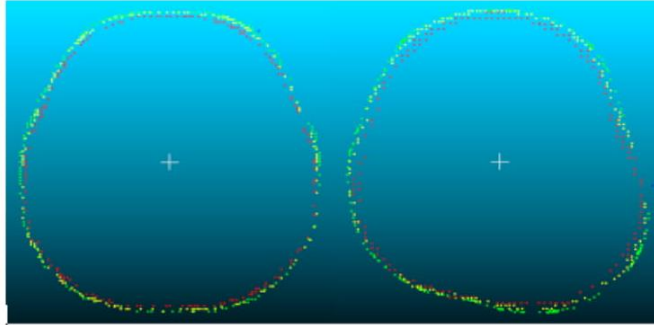
**Fig. 3.** Comparison of original head (left) and voxelized head (right).

## 6 Results

After the voxelization process it was possible to calculate the Procrustes and Hausdorff distance between the heads. The heads more similar to head number 1 were the normal head and head number 2, so it was expected that the least distance were in these heads. Results from Experiment 1 were close to expected. The results showed that the most similar heads with the head no. 1 were, by the following order: 2, 4, Normal, 8, 10, 7, 6, 3, 5, 9. Even though the normal head was only considered to be the 3rd most similar, the two most similar heads, head number 2 and the normal head were in the top 3 closest heads. Hence we can conclude that comparing using Procrustes distance might be a good approach for these type of cases.

In Experiment 2, as explained before, heads were only compared considering the points in 2D planes, planes 3, 4 and 5. Fig. 4 shows an upper view of planes 3, 4 and 5 of the normal head, on the left, and head number 8, on the right. Planes are represented by different colors. Although these are only 2D planes of the head, deformities are clearly seen, as there is a prominence in the right head on the lower right corner. In order to compare heads, Procrustes distance was calculated by each plane individually and the final result was given by the mean of distances among the planes. In this case it was also necessary to perform voxelization, as the planes of each head had different number of points. Since the number of points to compare was much less than in Experiment 1 there were not performance issues, so the number of points used was the minimum number of points per plane among all heads. The results of Experiment 2 showed that the most similar head was head number 4, which is not true. Also, the normal head and head no. 2 were not in the top 3 of the closest heads. So, using Procrustes with 2D planes did not provide good results.





**Fig. 4.** Planes 3, 4 and 5 of normal head and head number 8.

In Experiment 3, heads were compared considering the points in 2D planes, planes 3, 4 and 5. The distance used was Hausdorff. The distance was also calculated by each plane individually and the final result was given by the mean of distances among the planes. Voxelization was also needed, so that all planes of each head had the same number of points. The most similar heads with head number 1 are, by the following order: Normal, 2, 7, 8, 5, 3, 4, 10, 6, 9. Results from Experiment 3 showed that the most similar heads with head number 1 were, by the following order: Normal, 2, 7, 3, 4, 10, 9, 6, 5, 8. These results can be considered good, as the three most similar heads were correctly determined. From the 3 methods experimented it is possible to conclude that the best one was from Experiment 3, where heads were compared using Hausdorff distance and using three 2D planes of the heads.

## 7 Implementation

The solution was implemented using Unity, C# and R. The Unity was chosen by its capabilities in building interfaces that conjugate 2D and 3D elements and because Unity allows to see the results more easily and fast while the solution is developed. The R language was chosen because of the diversity of processing algorithms already developed in this language.

The graphical interface of the developed solution has two main areas. The first area is dedicated in the visualization and manipulation of point cloud. The second area is dedicated to view the results and make the necessary operations. In the Measures functionality, it's shown at left top corner the top view of the head. The top view of the head allows the user to see where the width and length was measured and also allows the user to see easily and more clearly the shape of the head.

The Export button is a utility button that lets the user export the point cloud of the head uniformly aligned and centered at origin. The Manual Alignment button has been so that the user can change the position of tragions and eye corners markers. This allows the user to be able to correct the position of initial markers for a more exact alignment and measures.

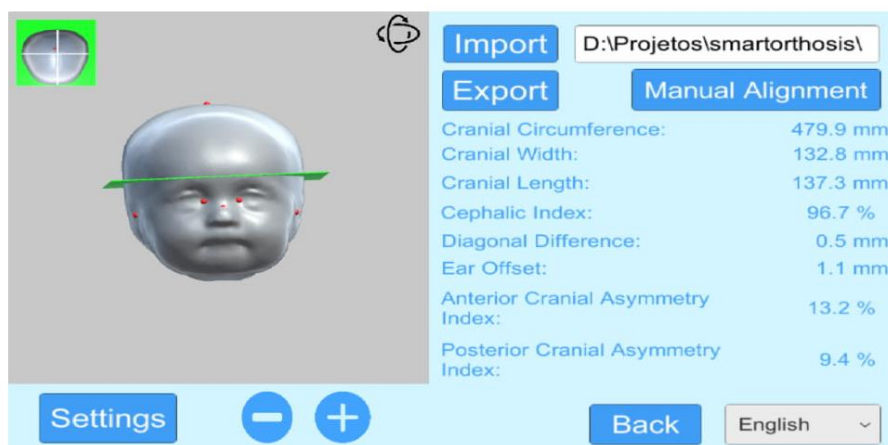


Fig. 5. Graphical interface of the feature Measures

The R language was used only in the comparison feature through the calling of a R script in the Unity. Two R scripts were made to handle two modes of comparison of the heads. The first handle the “Complete Head” mode, it uses the Procrustes algorithm to calculate the head more similar to the selected one. The second handle the “Plane 3, 4, 5” mode, it uses the Hausdorff algorithm to calculate the head more similar to the selected one.

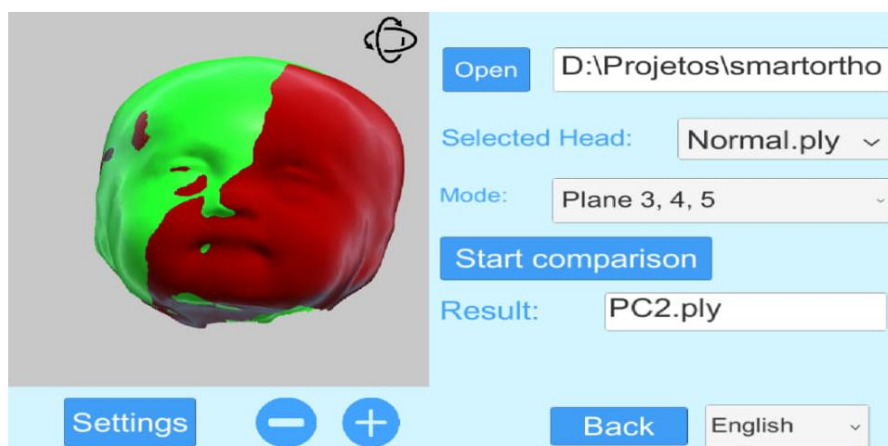


Fig. 6. Graphical interface of the feature Comparison.

## 8 Conclusion

This paper showed several methods to be used for helping the creation of an orthosis for the treatment of plagiocephaly. It was shown how to extract cranial measures like the cranial circumference from point clouds of heads. It was also detailed a process for comparing point clouds of heads, which can be also used for comparing point clouds of other objects. The results of the comparisons seem promising, although it is still necessary to make more tests using larger datasets with different characteristics like variations in the density of points along the point cloud to assure this is a trustful method.

## Acknowledgement

This work was funded by projects NORTE-01-0145-FEDER-024300 ("SmartOrthosis"), supported by Northern Portugal Regional Operational Programme (Norte2020), under the Portugal 2020 Partnership Agreement, through the European Regional Development Fund (FEDER), and has also been funded by FEDER funds, through Competitiveness Factors Operational Programme (COMPETE).

## References

1. G.R.E.O.P, 'Cranial Remolding Orthoses | Plagiocephaly', 2018. [Online]. Available: <https://www.greop.com/cranial-remolding-helmets>. [Accessed: 03-Sep-2018].
2. Slupchynskij O., Regions of the Nose', *Rhinoplasty Surgeon New York*. <http://rhinoplastysurgeonnewyork.com/regions-of-the-nose/>
3. Rouse M., Point Cloud, <https://whatis.techtarget.com/definition/point-cloud>
4. Myronenko A., Song X., 'Point-Set Registration: Coherent Point Drift', *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 32, no. 12, pp. 2262–2275, Dec. 2010.
5. Bourke, P., 'PLY - Polygon File Format'. [Online]. Available: <http://paulbourke.net/dataformats/ply/>. [Accessed: 04-May-2018].
6. StackOverflow, 'math - Calculate Volume of any Tetrahedron given 4 points', *Stack Overflow*. [Online]. Available: <https://stackoverflow.com/questions/9866452/calculate-volume-of-any-tetrahedron-given-4-points>. [Accessed: 23-May-2018].
7. Tsakiri M., Anagnostopoulos V., 'Change Detection in Terrestrial Laser Scanner Data Via Point Cloud Correspondence', *ResearchGate*. [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/282001967\\_Change\\_Detection\\_in\\_Terrestrial\\_Laser\\_Scanner\\_Data\\_Via\\_Point\\_Cloud\\_Correspondence](https://www.researchgate.net/publication/282001967_Change_Detection_in_Terrestrial_Laser_Scanner_Data_Via_Point_Cloud_Correspondence). [Accessed: 10-Jul-2018].
8. Claude J., *Morphometrics with R*. New York: Springer-Verlag, 2008.
9. Kraft D., 'Computing the Hausdorff Distance of Two Sets from Their Signed Distance Functions'. 2015.
10. Nutanong, S., Jacox, E.H., Samet H., 'An Incremental Hausdorff Distance Calculation Algorithm', *Proc VLDB Endow*, vol. 4, no. 8, pp. 506–517, May 2011.

11. Kim I., McLean W., 'COMPUTING THE HAUSDORFF DISTANCE BETWEEN TWO SETS OF PARAMETRIC CURVES', *Commun. Korean Math. Soc.*, vol. 28, no. 4, pp. 833–850, 2013.
12. Plank L.H., Giavedoni B., Lombardo J.R., Geil M.D., Reisner A., 'Comparison of infant head shape changes in deformational plagiocephaly following treatment with a cranial remolding orthosis using a noninvasive laser shape digitizer', *J. Craniofac. Surg.*, vol. 17, no. 6, pp. 1084–1091, Nov. 2006.
13. R. C. Team, 'R: A Language and Environment for Statistical Computing', 2018.
14. Dryden, I. L., 'shapes - Statistical Shape Analysis software in R'. [Online]. Available: <https://www.maths.nottingham.ac.uk/personal/ild/shapes/>. [Accessed: 10-Jul-2018].
15. Borchers, H.W., *pracma: Practical Numerical Math Functions*. 2018.
16. Rouse, M., 'What is voxel? - Definition from WhatIs.com', *WhatIs.com*. [Online]. Available: <https://whatis.techtarget.com/definition/voxel>. [Accessed: 10-Jul-2018].
17. Kim K., Cao M., Rao S., Xu J., Medasani S., Owechko Y., 'Multi-object detection and behavior recognition from motion 3D data', in *CVPR 2011 WORKSHOPS*, 2011, pp. 37–42.
18. Laine S., 'A Topological Approach to Voxelization', *Comput. Graph. Forum*, vol. 32, no. 4, p. 1.
19. Han Z., Liu Z., Han J., Vong C.M., Bu S., Chen C.L.P., 'Unsupervised Learning of 3-D Local Features From Raw Voxels Based on a Novel Permutation Voxelization Strategy', *IEEE Trans. Cybern.*, pp. 1–14, 2017.
20. Lecigne B., Delagrangé S., Messier C., 'VoxR: Metrics extraction of trees from T-LiDAR data. R package.', *ResearchGate*. [Online]. Available: <https://cran.r-project.org/web/packages/VoxR/index.html>. [Accessed: 10-Jul-2018]



# Anexo B – Artigo submetido na P. Porto Research Workshop

## Automatic Clinic Measures and Comparison of Heads using Point Clouds

Pedro Oliveira<sup>1</sup>, António Vieira de Castro<sup>1,2</sup>, Fátima Rodrigues<sup>1,3</sup>, João Vilaça<sup>4</sup>, Pedro Morais<sup>4</sup> and Fernando Veloso<sup>4</sup>

<sup>1</sup> *Institute of Engineering – Polytechnic of Porto (ISEP/IPP), Portugal*

<sup>2</sup> *LAMU – Multimedia Laboratory*

<sup>3</sup> *Interdisciplinary Studies Research Center (IRSC)*

<sup>4</sup> *2AI – Instituto Superior do Cávado e Ave, Braga, Portugal*

*{pmdso,ajlpa,avc,mfc}@isep.ipp.pt*

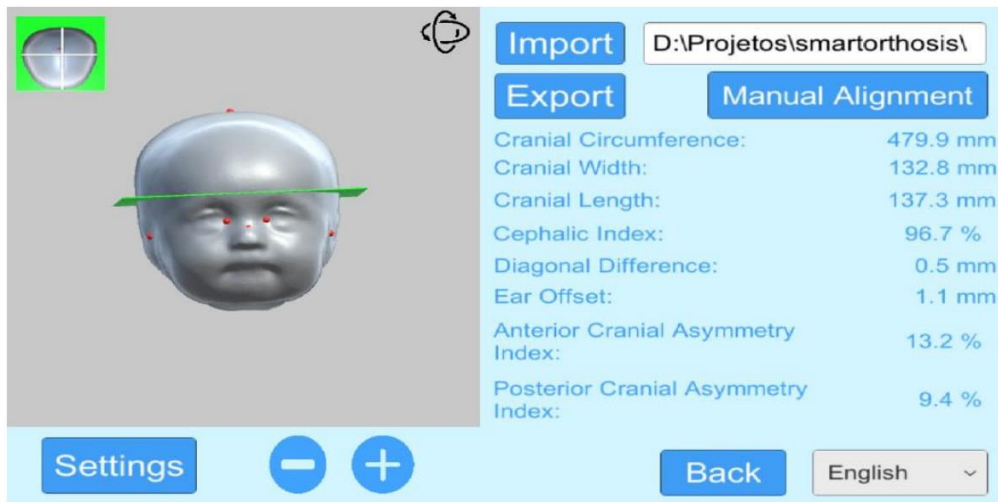
*{jvilaca,pmorais,fveloso}@ipca.com*

### Abstract

Positional plagiocephaly is a condition characterized by an asymmetrical distortion of the cranium. A baby's skull is not strong, so it can suffer deformations, which cause plagiocephaly. In severe deformations, to fix the problem, the baby may need to use an orthosis, that should be used when the baby has between 3 and 18 months of age [1]. The orthosis will allow the head to grow gently back into a normal shape. This treatment must be done early, before the fontanelles close and the cranium fuses together. The SmartOrthosis project aims to automatize the process of orthosis' creation for the treatment of positional plagiocephaly. The development of SmartOrthosis was driven by a collaboration between ISEP, through the LAMU team and IPCA, through 2AI. In order to reach the aforementioned objective, the development was divided into three phases: automatic anthropometric analysis, automatic cranial orthosis' design and cranial orthosis' prototyping. In the phase of the automatic anthropometric analysis, it was developed methods to treat the point clouds in order to obtain the necessary measurements and points. The automatic cranial orthosis' design will develop processes to create the 3D model of the cranial orthosis, using the measurements obtained previously. The prototype of the orthosis will be made using the previously obtained models and it will be studied materials and sensors necessary for a correct functioning of the orthosis. In order to make the results usable for doctors and other medical professionals, a solution with a graphical interface has been developed. The solution was implemented using Unity, C# and R. The Unity was chosen by its capabilities in building interfaces that conjugate 2D and 3D elements and because Unity allows to see the results more easily and fast while the solution is developed.

The R language was chosen because of the diversity of processing algorithms already developed in this language.

The graphical interface of the developed solution has two main areas. The first area is dedicated in the visualization and manipulation of point cloud. The second area is dedicated to view the results and make the necessary operations. In the Measures functionality, it's shown at left top corner the top view of the head. The top view of the head allows the user to see where the width and length was measured and it also allows the user to see easily and more clearly the shape of the head.



The objectives of the first phase were achieved, with the development of the application with graphical interface able to treat and analyse the clouds of points, in order to obtain the points and reference measures.

## Keywords

Positional Plagiocephaly, Automatic Measures, Point Clouds

**Acknowledgments.** This work was funded by projects NORTE-01-0145-FEDER-024300 ("SmartOrthosis"), supported by Northern Portugal Regional Operational Programme (Norte2020), under the Portugal 2020 Partnership Agreement, through the European Regional Development Fund (FEDER), and has also been funded by FEDER funds, through Competitiveness Factors Operational Programme (COMPETE).

## References

1. G.R.E.O.P, 'Cranial Remolding Orthoses | Plagiocephaly', 2018. [Online]. Available: <https://www.greop.com/cranial-remolding-helmets>. [Accessed: 03-Sep-2018]



## Anexo C – Questionário

### Questionário da sessão de experimentação do SmartOrthosis

Este questionário tem como propósito avaliar a qualidade da solução

SEGUINTE

Nunca envie palavras-passe através dos Google Forms.

### Questionário da sessão de experimentação do SmartOrthosis

\*Obrigatório

#### Teste da aplicação SmartOrthosis (I)

Quão fácil foi utilizar a aplicação? \*

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

Como classifica o feedback da aplicação em relação às suas  
ações \*

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

ANTERIOR

SEGUINTE

Nunca envie palavras-passe através dos Google Forms.



# Questionário da sessão de experimentação do SmartOrthosis

\*Obrigatório

## Teste da aplicação SmartOrthosis (II)

Como classifica o tamanho dos elementos do ecrã (letra, botões, etc)? \*

- Demasiado Pequenos
- Perfeitos
- Demasiado Grandes

Como classificarias a funcionalidade das Medidas? \*

1            2            3            4            5

Como classificarias a funcionalidade da Comparação? \*

1            2            3            4            5

ANTERIOR

SEGUINTE

Nunca envie palavras-passe através dos Google Forms.

# Questionário da sessão de experimentação do SmartOrthosis

\*Obrigatório

## Teste da aplicação SmartOrthosis (III)

Como classifica a privacidade do paciente na aplicação \*

- Não sei/Não Respondo
- Fraca
- Má
- Razoável
- Boa
- Excelente

Encontrou algum erro durante o uso da aplicação? \*

- Sim
- Não

ANTERIOR

SEGUINTE

Nunca envie palavras-passe através dos Google Forms.

# Questionário da sessão de experimentação do SmartOrthosis

\*Obrigatório

## Teste da aplicação SmartOrthosis (IV)

Encontrou alguma mensagem incorreta ou ofensiva? \*

Sim

Não

Existe algum aspeto que gostaria que fosse melhorado no futuro?

A sua resposta

---

ANTERIOR

SUBMETER

Nunca envie palavras-passe através dos Google Forms.