



**TÉCNICO**  
LISBOA

# **Simulador Háptico de Realidade Virtual para Perfuração Dentária**

**Artur Miguel Henriques Esteves**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

**Engenharia Informática e de Computadores**

Orientadores: Prof. Daniel Simões Lopes  
Dr. Pedro Miguel da Silva Rodrigues

## **Júri**

Presidente: Prof. Alberto Manuel Rodrigues da Silva

Orientador: Prof. Daniel Simões Lopes

Vogal: Doutor. Daniel Filipe Martins Tavares Mendes

**Janeiro 2021**



## **Agradecimentos**

Eu, gostaria de aproveitar para agradecer a todas as pessoas que contribuíram e ajudaram de forma direta ou indiretamente durante esta etapa, tornando assim possível a realização deste trabalho.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer à minha família, em particular aos meus pais e irmã por todo o seu amor e apoio contínuo ao longo da minha vida. Obrigado por todos os sacrifícios e esforços realizados em prol da minha educação.

Obrigado Diana Carvalho por todo o teu amor, força, bem como as palavras de conforto e de motivação que ajudaram também a tornar este trabalho possível.

Agradeço também a todos os meus amigos, que estiveram presentes durante esta etapa, e deixo um especial agradecimento ao amigo Ricardo Morais por todo o seu apoio em fases árduas.

Reconheço e agradeço também os esforços realizados pela empresa Electro que ajudou a conciliar o mundo empresarial com o académico.

Por fim, agradeço aos meus orientadores de dissertação, prof. Daniel Lopes e Dr. Pedro Rodrigues por toda a disponibilidade, apoio, paciência demonstrada e conhecimento transmitindo que tornou este trabalho possível.



## Resumo

A medicina dentária é uma disciplina bastante prática e técnica que conseqüentemente exige a dedicação de um elevado número de horas dedicadas ao treino. Quando a fase de treino é iniciada em ambiente pré-clínico os alunos estão bastante dependentes do feedback fornecido pelos professores. Combinando o fator de existir um número crescente de alunos a optarem por estudar medicina dentária, conseqüentemente o tempo que cada professor pode despende para acompanhar cada aluno é afetado. O treino pré-clínico foca-se primariamente no uso de frascos. Esta metodologia de ensino é de baixo custo, consegue oferecer algum realismo, mas os exercícios são sempre realizados em dentes que não permitem distinguir as diferentes camadas e a execução do procedimento é irreversível e é difícil receber feedback de um profissional no momento do treino.

O trabalho proposto neste documento foca-se no desenvolvimento de um simulador háptico de realidade virtual com foco na fase de instrumentação.

Portanto, pretende-se com este trabalho estudar a adaptação de simuladores virtuais, recorrendo a tecnologias de feedback háptico e realidade virtual num ambiente de ensino, para coexistirem com o método tradicional de treino, que recorre aos frascos.

**Palavras-chave:** Simulação, Feedback Háptico, Realidade Virtual, Perfuração Dentária



## **Abstract**

Dental medicine is a very practical and technical discipline that consequently requires the dedication of a high number of hours dedicated to training. When the training phase starts in the preclinical environment, students are highly dependent on feedback provided by teachers. Combining the fact that there is an increasing number of students choosing to study dental medicine, consequently, the time that each teacher can spend to accompany each student is highly affected. Preclinical training focuses primarily on the use of typodont. This teaching methodology is low cost, manages to offer some realism, but the exercises are always performed on teeth that do not allow to distinguish the different layers. Additionally, the execution of the procedure is irreversible, and it's hard to receive feedback from a professional while preparing a cavity.

The work proposed in this document focuses on the development of a haptic simulator of virtual reality with focus on the instrumentation phase.

Therefore, this work intends to study the adaptation of virtual simulators, while using haptic feedback and virtual reality technologies in a teaching environment, to co-exist with the traditional training method, using typodont.

**Keywords:** Simulation, Haptic Feedback, Virtual Reality, Tooth Drilling





# Conteúdo

Agradecimentos . . . . .	iii
Resumo . . . . .	v
Abstract . . . . .	vii
Lista de Figuras . . . . .	xi
<b>1 Introdução</b>	<b>1</b>
1.1 Contexto . . . . .	2
1.2 Objectivos . . . . .	2
1.3 Estrutura do Documento . . . . .	3
<b>2 Estado de Arte</b>	<b>5</b>
2.1 Introdução da Simulação na Disciplina de Medicina Dentária . . . . .	5
2.2 Reconhecimento da Simulação em Diversas Áreas . . . . .	7
2.3 Estado da Simulação na Disciplina de Medicina Dentária . . . . .	8
<b>3 Solução - Simulador Virtual DENTIFY</b>	<b>13</b>
3.1 Arquitetura . . . . .	13
3.2 Ambiente de Simulação . . . . .	17
3.3 Processo de Criação de Casos de Treino . . . . .	21
3.4 Processo de Deformação de Tecido Dentário . . . . .	27
3.5 Feedback . . . . .	37
3.6 Exploração da Técnica de Voxels para Deformação de Dentes . . . . .	42
<b>4 Resultados da Avaliação da Solução</b>	<b>45</b>
4.1 Técnicas Usadas . . . . .	46
4.2 Higiene e Segurança . . . . .	48
4.3 Resultados da Primeira Sessão de Avaliação . . . . .	48
4.3.1 Experiência de Realidade Virtual . . . . .	49
4.3.2 Usabilidade . . . . .	51
4.3.3 Carga de Trabalho . . . . .	52
4.3.4 Feedback sobre a Experiência . . . . .	52
4.4 Resultados Finais . . . . .	54

4.4.1	Experiência de Realidade Virtual . . . . .	55
4.4.2	Usabilidade . . . . .	56
4.4.3	Carga de Trabalho . . . . .	57
4.4.4	Feedback sobre a Experiência . . . . .	60
<b>5</b>	<b>Conclusões</b>	<b>63</b>
5.1	Trabalho Futuro . . . . .	63
	<b>Bibliografia</b>	<b>65</b>
<b>A</b>	<b>Comparação de Trabalhos</b>	<b>69</b>
<b>B</b>	<b>Excertos de Código Fonte do Simulador</b>	<b>71</b>
<b>C</b>	<b>Material de Suporte das Sessões de Avaliação</b>	<b>75</b>

# Lista de Figuras

2.1	Desenho do primeiro simulador, denominado de Fantoma [2]	6
2.2	Fantoma moderno [2]	6
2.3	Frasacos	7
3.1	Arquitetura do simulador Dentify	15
3.2	<i>Colliders</i> em redor do tecido dentário da polpa	17
3.3	Primeiro cenário da simulação - Definição do nome do utilizador	18
3.4	Segundo cenário da simulação - Configuração da simulação	19
3.5	Simulação - Descrição do exercício	19
3.6	Simulação - Visão inicial	20
3.7	Simulação - Painel de apoio	20
3.8	Localização da caixa proximal em cavidade de classe 2	22
3.9	Dente envolvido por matriz metálica	22
3.10	Dental clinic 3D scanner 3M True Definition [25]	23
3.11	Scans de um dente molar e preparação de cavidades do tipo classe 1 e 2	23
3.12	Limites das respetivas cavidades classe 1 e 2 preparadas por um especialista em Dentisteria	25
3.13	Tecidos duros e moles virtuais adicionados aos modelos dos dentes usados na simulação	25
3.14	Dentes suportados no simulador, com os repestivos limites assinalados a verde	26
3.15	Polígonos com diferentes configurações [26]	27
3.16	Evolução do processo de criação da gengiva	28
3.17	Exemplos de modelos construídos recorrendo a operações de CSG [27]	29
3.18	Dente com pequena área removida da superfície do tecido dentário	30
3.19	Dente deformado recorrendo a um raio superior ao raio das brocas convencionais	30
3.20	Densidade de polígonos das diferentes camadas	31
3.21	Evolução da preparação de uma cavidade do tipo Classe 1	32
3.22	<i>Raycasts</i> adicionais à turbina	33
3.23	Representação de arestas de grande dimensão, criando assim as paredes	34
3.24	Não existe deformação no local onde o feixe azul está a incidir	34
3.25	A deformação deve de ocorrer no topo da superfície	35
3.26	A deformação ocorreu no topo da superfície da parede	35

3.27	Demonstração das arestas e vértices no modelo . . . . .	35
3.28	Exemplo de paredes numa cavidade de classe 2 . . . . .	36
3.29	Representação de grandes deformações internamente num modelo de dente - Os vértices são empurrados para perto da extremidade oposta do modelo . . . . .	36
3.30	Cavidade classe 1 com excesso de picos de esmalte . . . . .	37
3.31	Cavidade classe 1 com um número bastante reduzido de picos de esmalte . . . . .	37
3.32	Diferentes estados do painel flutuante . . . . .	38
3.33	Animação esguicho de sangue quando a broca entra em contacto com a gengiva. . . . .	38
3.34	Caneta háptica e os diferentes modelos disponíveis . . . . .	40
3.35	Cubo composto por blocos . . . . .	42
3.36	Dente composto por blocos com tecido careado em duas faces . . . . .	43
3.37	Deformação tecido careado. . . . .	43
4.1	Mapeamento de pontuação de usabilidade para diversas escalas interpretáveis . . . . .	47
4.2	1ª Sessão de Avaliação - Anos de experiência dos especialistas . . . . .	49
4.3	1ª Sessão de Avaliação - Efeitos secundários sentidos pelos participantes usando os óculos de realidade virtual . . . . .	50
4.4	1ª Sessão de Avaliação - Resultados do questionário de usabilidade - SUS . . . . .	51
4.5	1ª Sessão de Avaliação - Resultados de avaliação da carga de trabalho sobre a tarefa de preparação de cavidades no simulador . . . . .	52
4.6	2ª Sessão de Avaliação - Anos de experiência dos especialistas . . . . .	55
4.7	2ª Sessão de Avaliação - Efeitos secundários sentidos pelos participantes usando os óculos de realidade virtual . . . . .	56
4.8	2ª Sessão de Avaliação - Resultados do questionário de usabilidade - SUS . . . . .	57
4.9	Média da pontuação das perguntas do questionário de usabilidade da 1ª e 2ª sessão de avaliação . . . . .	57
4.10	2ª Sessão de Avaliação - Resultados de avaliação da carga de trabalho sobre a tarefa de preparação de cavidades no simulador . . . . .	58
4.11	2ª Sessão de Avaliação - Média da pontuação dos fatores consideradores . . . . .	58
4.12	Pega caneta háptica . . . . .	61
A.1	Comparação de Trabalhos Estudados . . . . .	70
B.1	Classes responsáveis por guardar os valores de configuração dos efeitos de deformação. . . . .	71
B.2	Composição hierárquica de um modelo turbina. . . . .	72
B.3	Código na classe <i>DrillDeformation</i> responsável por detetar colisões e pedir a deformação dos tecidos. . . . .	72
B.4	Script responsável por realizar a deformação e está associado a todos os modelos deformáveis. . . . .	72

B.5 Exemplo de configuração das deformações a realizar nos diferentes tecidos, para uma broca. . . . .	73
--	----



# Capítulo 1

## Introdução

A tecnologia nas últimas décadas tem evoluído de forma drástica e conseqüentemente esta revolução tecnológica reflete-se também no mundo da medicina dentária. A medicina dentária é uma disciplina bastante prática e a metodologia predominante no ensino durante a fase de treino em ambiente pré-clínico, recorre maioritariamente a fantasmas e frascos. Porém, as técnicas tradicionais têm sofrido poucas alterações relevantes ao longo do tempo. O desenvolvimento de simuladores virtuais para o treino pré-clínico começa a apresentar a possibilidade de estes se tornarem ferramentas válidas e acessíveis de treino dos alunos em ambiente pré-clínico. Tais progressos representam a possibilidade de expandir a metodologia tradicional de ensino praticado na área de medicina dentária.

A tecnologia de realidade virtual em conjunto com dispositivos hápticos tem o potencial de ser usados numa fase de treino pré-clínico, de forma a proporcionar ao aluno uma sessão de treino num ambiente de simulação imersiva. Tal é conseguido através das capacidades imersivas proporcionadas pelo hardware de realidade virtual que são capazes de enganar o cérebro, sendo que esta capacidade é fator bastante forte e importante no mundo das simulações. Os simuladores são ótimas ferramentas de treino, pelo que permitem um participante realizar inúmeras sessões de treino, adicionalmente todas as sessões de treino são executadas num ambiente virtual perfeitamente seguro. Os simuladores têm a vantagem de possibilitarem a exposição do aluno a diversos cenários, contribuindo assim para a aquisição de novas habilidades, permite o aluno ter contacto com diversas situações, sendo que outro fator positivo dos simuladores é possibilitarem o contacto com cenários que podem ser difíceis de replicar ou de encontrar no mundo real.

A realidade virtual é uma tecnologia imersiva e para tal implica que os sentidos do utilizador sejam enganados, transmitindo assim a sensação de que o utilizador se encontra realmente num mundo diferente. De forma a conseguir o efeito de imersividade é necessário recorrer a uma *interface* de realidade virtual, que se materializa num *Head Mounted Display, HMD*, ou seja, os óculos de realidade virtual. A possibilidade de interagir com objetos virtuais através de comandos, ou usando as mãos, ou até mesmo recorrendo a canetas hápticas, torna as experiências mais imersivas e realistas.

Para além da tecnologia de realidade virtual, a tecnologia de realidade aumentada também é bastante usada na implementação de simuladores em medicina dentária [1]. Esta tecnologia permite com-

binar elementos reais com elementos do mundo virtual, onde a ideia consiste em adicionar uma camada digital no topo do ambiente físico real, desta forma a realidade é complementada com informação gerada no ambiente virtual.

No entanto, a tecnologia de realidade aumentada em oposição à realidade virtual necessita do mundo físico real para fornecer uma experiência ao utilizador. Esta tecnologia embora válida não satisfaz os requisitos da visão do simulador, pelo que pretende proporcionar ao aluno uma experiência imersiva e sem necessitar de recorrer a qualquer ferramenta de treino habitual. A solução apresentada neste documento visa proporcionar ao estudante uma experiência diferente e mais realista comparando com o formato de treino convencional, que é composto por fantasmas e frascos. Recorrendo a um sistema de realidade aumentada, o simulador teria de depender dos frascos ou fantasmas no mundo real para conseguir assim realizar a simulação e conseguir acrescentar valor por cima real.

A tecnologia háptica é um dos elementos-chave para os alunos aderirem aos simuladores hápticos virtuais, dado que esta tecnologia intensifica a imersividade e o realismo da experiência proporcionada pelos simuladores [2]. Os dispositivos hápticos permitem ao utilizador interagir com o mundo virtual recorrendo ao *feedback* táctil. O *feedback* transmitido, às canetas hápticas é derivado da força aplicada bem como da movimentação sobre os eixos x, y e z [3]. Os simuladores hápticos na área da medicina contêm um dispositivo háptico que permite o utilizador realizar sessões de treino sobre modelos virtuais de dentes ou arcadas, sendo que os modelos podem ser completados com os diversos tecidos moles de forma a criar uma simulação mais realista. A interação do utilizador com uma caneta háptica deve ser bastante semelhante à manipulação de uma turbina real, dado que este dispositivo pretende simular as funcionalidades da turbina. Existem, no entanto, trabalhos que para aumentar o realismo da experiência procedem à adaptação da caneta háptica para suportar na ponta da caneta háptica o instrumento real. Nestes simuladores, a função mais comuns dos dispositivos hápticos é simular o uso de instrumentos de corte, permitindo assim que o utilizador consiga sentir as diversas resistências oferecidas pelos diferentes materiais que compõem o dente [3, 4]. A caneta háptica pode também ser usada para simular espelhos, bem como seringas carpule.

## 1.1 Contexto

A elaboração deste trabalho contou com o apoio do INESC e do Instituto Universitário Egas Moniz, I.U.E.M.. Parte do desenvolvimento e a validação do trabalho ocorreu nas instalações da Egas Moniz. O I.U.E.M. forneceu todo o material usado e todas as observações e sessões de testes foram realizadas em ambiente de clínica nas instalações do I.U.E.M..

## 1.2 Objectivos

O objetivo deste trabalho é investigar a viabilidade da aceitação de novas ferramentas no ensino, sendo estas disponibilizadas aos alunos durante a fase de treino pré-clínico. Existem algumas soluções [5–8], e embora já se apresentem como soluções bem estabelecidas, o formato bancada, disponibili-



zado apresenta um custo bastante elevado, pelo que se torna praticamente impossível um aluno adquirir um simulador de treino virtual, onde consiga treinar num dente, usando ferramentas que permitam simular as ferramentas usadas em ambiente de clínica.

Para conseguirmos atingir estes objetivos, pretende-se, desenvolver um simulador háptico de realidade virtual com foco na fase de instrumentação, onde será possível preparar cavidades do tipo classe 1 e 2, com base num dente real e em limites de cavidades que foram realizadas por especialistas. O simulador irá possibilitar realizar sessões de treino totalmente num ambiente virtual, onde consequentemente não será necessário recorrer a material físico, por exemplo, os frascos. Para ajudar e orientar o utilizador durante a sessão de treino, o simulador fornece algum feedback auditivo de forma a alertá-lo para diversas situações, por exemplo, indicar a proximidade da polpa. Adicionalmente, também será fornecido algum feedback háptico de forma a tentar simular a resistência oferecida pelos diferentes tecidos que compõem um dente. Como último objetivo, pretendemos recorrer aos especialistas da área da medicina dentária para obter feedback e validar a solução apresentada neste documento.

A incorporação destas tecnologias num ambiente de ensino apresenta novas oportunidades para expandir as ferramentas disponíveis de treino dos alunos, ajudando-os assim a melhorar algumas habilidades, por exemplo, a destreza manual, aprender passos dos processos, sendo que podem ter diversas aplicações no mundo do ensino.

### **1.3 Estrutura do Documento**

O próximo capítulo, apresenta a literatura sobre simuladores virtuais aplicados em contexto de medicina dentária, de forma a suportar o trabalho apresentado, o simulador Dentify, que consiste num simulador háptico de realidade virtual. Capítulo 3 descreve a solução proposta e a sua arquitetura e adicionalmente bem como os desafios encontrados. O capítulo 4 é responsável por descrever como o sistema foi avaliado, quem participou nas sessões de avaliação e quais os resultados sobre a aceitação do simulador. O capítulo 5 reúne as conclusões do trabalho e apresenta os próximos passos do trabalho, de acordo com o feedback das avaliações.



# Capítulo 2

## Estado de Arte

Nesta secção do documento serão apresentados alguns trabalhos que refletem o percurso da simulação aplicado à fase de treino no ensino da medicina dentária. Neste estudo serão identificadas as tecnologias, metodologias, objetivos e limitações de diversos trabalhos, de forma a perceber o estado de arte dos simuladores hápticos virtuais na área da medicina dentária. Comparar estes trabalhos pode-se provar uma tarefa árdua e por essa razão foi realizada uma tabela, que será apresentada no apêndice A, de forma a facilitar a visualização das funcionalidades de alguns trabalhos identificados.

### 2.1 Introdução da Simulação na Disciplina de Medicina Dentária

Os médicos dentistas realizam procedimentos complexos que exigem uma técnica perfeita onde o erro pode ter consequências graves. Para estes atingirem um bom nível de qualidade, é necessário despende muitas horas na fase de treino. Desde a fundação da primeira escola de medicina dentária que houve a necessidade de treinar os alunos através da simulação [2]. Os primeiros treinos realizados nas escolas recorriam a dentes exodontados, extraídos, e esta técnica de treino apresentava dificuldades às sessões de treino visto que este é um recurso escasso. A preparação dos alunos através de técnicas de simulação foram desde cedo consideradas importantes pelo facto que os procedimentos são irreversíveis, o que demonstra a necessidade de investir no treino pré-clínico, porque profissionais mal preparados colocam a saúde e o bem-estar dos pacientes em risco [2].

O primeiro simulador desenvolvido era bastante simples e tornou-se universalmente aceite pela comunidade de médicos dentistas. O fantoma, denominado por *Phantom Head*, foi o primeiro simulador dentário, criado por Oswald Fergus em 1894, sendo constituído por duas mandíbulas, compostas por dentes exodontados, seguras a uma barra de metal de forma a simular a boca de um paciente [2]. A figura 2.1 demonstra o primeiro simulador em medicina dentária e a figura 2.2 apresenta a versão moderna deste simulador, sendo esta versão composta por dentes de plástico e/ou resina, contém o formato de uma cabeça de modo a simular um paciente, o fantoma é posicionado como se de um paciente se tratasse, permitindo o aluno treinar a sua postura durante o treino. Estas são algumas das vantagens dos fantasmas que representam em conjunto com os frascos, geralmente as únicas

ferramentas de treino disponíveis para os alunos em treino pré-clínico.

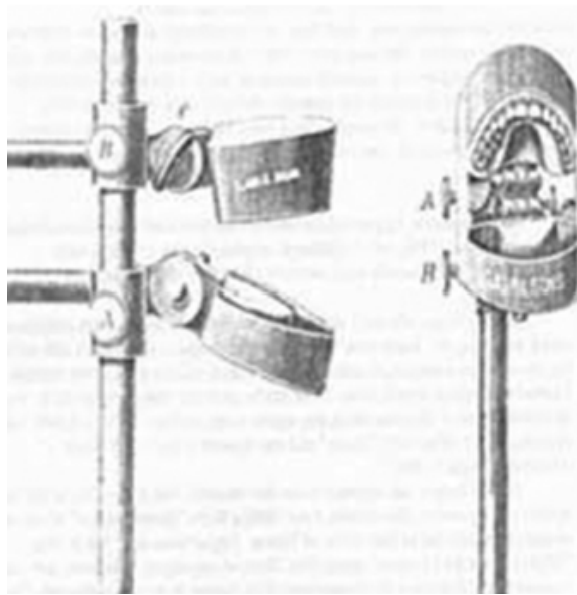


Figura 2.1: Desenho do primeiro simulador, denominado de Fantoma [2]



Figura 2.2: Fantoma moderno [2]

Segundo a investigação realizada por Perry et al. [2] e tendo em conta observações de profissionais, as metodologias de ensino na medicina dentária não têm sofrido alterações relevantes, exceto algumas universidades que já começaram a integrar simuladores [9] na fase de treino pré-clínico.

A metodologia de ensino em relação ao treino divide-se em duas fases. Após o aluno adquirir conhecimento teórico sobre a anatomia do dente e da arcada os profissionais realizam representações esquemáticas teóricas dos procedimentos, tendo conseqüentemente os alunos de replicar estes procedimentos em modelos de plástico, tal como os fantasmas ou frascos, figura 2.3. Na fase posterior, os alunos aplicam os procedimentos no ambiente de clínica sobre pacientes reais mediante a supervisão de supervisores [10].

A introdução dos fantasmas possibilitou a repetição da simulação de condições clínicas teóricas após instruções verbais e visuais sobre a execução. Os fantasmas são universalmente aceites devido



(a) Frasco arcada completa.



(b) Frasco em bloco de gesso.

Figura 2.3: Frascos

à aproximação da realidade que conseguem transmitir face o seu baixo custo. O treino em fantasmas permite ao aluno treinar a postura durante o procedimento, manusear os instrumentos reais, repetir as tarefas, possibilita posicionar o fantoma como se de um paciente se tratasse, treinar a destreza com o espelho e os instrumentos de corte ao utilizar o espelho durante o treino, treinar a visão indireta. Adicionalmente, apresenta a possibilidade de o aluno exercitar a técnica de descanso do dedo, sendo essencial ser adquirida, pelos alunos, numa fase inicial porque fornece estabilidade no manuseamento dos instrumentos. Porém, os fantasmas não permitem realizar sessões de treino baseado em casos de pacientes reais, os alunos encontram-se também limitados face às situações de treino que os fantasmas ou os frascos conseguem proporcionar, é necessário recorrer à turbina para realizar as sessões de treino, o que requer uma infraestrutura especializada e dispendiosa. Os alunos de medicina dentária, numa fase inicial encontram-se muito dependentes de um tutor para obter feedback sobre as suas sessões de treinos práticos e por vezes falta objetividade [11].

## 2.2 Reconhecimento da Simulação em Diversas Áreas

A simulação é universalmente aceite e apresentada um elevado grau de maturação na aviação dado que representa um peso enorme na formação de novos pilotos, bem como para manterem as suas licenças. Tal adoção deve-se ao elevado grau de realismo e de fidelidade que os simuladores de aviação conseguem apresentar. Um fator que contribuiu para a adoção em massa destes simuladores deve-se ao facto de seguirem critérios de avaliação uniformizados. Existem semelhanças entre a aviação e cirurgias dado que ambas as disciplinas requerem que os profissionais possuam um elevado nível técnico, estejam bem preparados para enfrentar situações potencialmente complicadas e/ou de

emergência. Foram realizados estudos que demonstraram cujos formados que incluíram na sua rotina de treino sessões de simulação tendiam a responder de forma mais ágil e espontânea, em oposição a quem não inclui a simulação na sua rotina e tais observações refletem-se em ambas as disciplinas [12]. Porém, os simuladores da área de medicina dentária ainda não atingiram o mesmo nível dos simuladores de aviação. Os simuladores virtuais da área da aviação surgiram como ponto de partida para o desenvolvimento de simuladores hápticos virtuais para a área de medicina dentária [13].

Maliha et al. [12] realizaram uma revisão da literatura sobre os simuladores disponíveis para o treino de cirurgia maxilofacial e identificou-se que os alunos ao realizarem exercícios de treino num simulador com procedimentos de laparoscopia e endoscopia, adquiriram mais destreza manual, o tempo dos procedimentos reduziu. Apesar de se verificarem resultados promissórios o estudo sugere que não existe muita adoção de simuladores no âmbito educacional devido à falta de estudos científicos validados em torno de simuladores já existente [12].

Para além dos alunos, até os médicos dentistas com vários anos de experiência podem beneficiar de sessões de treino baseado em casos reais complexos. Existem simuladores que possibilitam o cirurgião realizar o treino baseado num caso real de uma região maxilofacial anatomicamente complexa. Para obter o modelo virtual de tecidos duros como a mandíbula e os dentes é realizada uma reconstrução 3D a partir de dados DICOM, em formato 2D, do paciente. Este formato de treino permite aumentar o conhecimento do caso, experimentar diferentes possibilidades de execução do plano de tratamento num ambiente seguro [14]. Em cirurgia oral/maxilofacial e implantologia, o treino baseado em simulação que recorre ao háptico, permite criar um modelo virtual do paciente baseado em imagens médicas, tais como dados radiológicos do paciente. O treino em modelos virtuais baseados em casos reais permitem diminuir a discrepância entre a simulação e a cirurgia. O planeamento cirúrgico simulado é transferível para a cirurgia [12].

Sobre o campo da cirurgia, foram realizados diversos estudos, mais de 30 ensaios clínicos aleatórios, demonstrando os benefícios da simulação na fase de treino. Analisando os resultados dos estudos observou-se que o desempenho de avaliação de um paciente, o nível técnico para realizar incisões, suturas melhorou, após incorporarem simuladores hápticos de realidade virtual na sua rotina de treino, o que reflete em alunos bem preparados, mais confiantes, com uma maior destreza manual, mais experiência, o que acaba por ser refletir num elevado desempenho na sala de operações [12].

### **2.3 Estado da Simulação na Disciplina de Medicina Dentária**

A periodontia consiste no estudo das estruturas que suportam os dentes, denominadas por periodonto, bem como as doenças e condições que afetam os mesmos. O periodonto é composto pelo ligamento periodontal, cemento, a gengiva e o osso alveolar. Esta área da medicina dentária requer que os dentistas dependam maioritariamente das sensações tácteis para realizar diagnósticos e realizar os procedimentos, pelo que o uso de dispositivos hápticos é indispensável para um simulador periodontal realista [4].

O treino das habilidades tácteis é algo bastante importante no mundo da medicina dentária, mas,

em contrapartida, requer muita atenção de um docente, este precisa de despender muitas horas de tutoria com os alunos, muitas vezes em acompanhamentos personalizados, o que conseqüentemente acabar por consumir demasiado tempo aos professores. Tal dificuldade deve-se ao facto de o aluno não conseguir sentir o que o professor sente nem este o conseguir transmitir, bem como o professor também não pode guiar fisicamente o aluno porque não sente as resistências dos tecidos.

Para ultrapassar tais limitações Kolesnikov et al. [9] realizaram um estudo que resultou no desenvolvimento de um simulador de realidade virtual na área da periodontia com o objetivo de ajudar os alunos na obtenção de habilidades sensório-motoras em dentisteria. O trabalho reaproveitou e propôs a melhoria de uma técnica já estudada e implementada em alguns simuladores, técnica denominada de *haptic feedback*, traduzido para reprodução háptica. Os simuladores hápticos são uma ferramenta ótima que permite o aluno realizar sessões de treino sem ser necessário o acompanhamento de um tutor para fornecer *feedback* e o guiar durante o procedimento. No entanto, estes simuladores são limitados quando se pretende proporcionar uma experiência de treino baseada na influência e experiência prática de um professor, onde este pode executar um procedimento e o aluno repetir o procedimento executado pelo professor e conseguir analisar os movimentos realizados bem como sentir a força que o profissional exerceu durante a sessão de treino.

Para dominar uma determinada tarefa é necessário ter habilidade motora, sendo que esta depende de dois fatores, a posição e a força. Segundo Kolesnikov et al. *haptic feedback* consiste num profissional executar um determinado procedimento e o simulador gravar o procedimento, para ser usado em sessões de treino posteriormente. Durante a fase de gravação do procedimento o simulador recolhe a força exercida sobre os tecidos, bem como a posição dos instrumentos ao longo do tempo, permitindo assim reconstruir a trajetória dos instrumentos. As gravações ficam armazenadas no sistema para mais tarde serem usadas nas sessões de treino pelos alunos, desta forma o aluno tem acesso à forma como um profissional realiza o diagnóstico e executa o procedimento. Durante a fase de treino do aluno o não necessita do acompanhamento do tutor [9].

Durante uma fase de observações em ambiente de clínica, verificou-se que existem casos de alunos, sendo até recorrente, que quando iniciam o treino no ambiente de clínica nunca observaram os procedimentos, que estão prestes a executar em pacientes reais, realizados por um profissional. De forma a combater problemas como estes e de forma a promover a realidade virtual no meio educacional Hasan et al. [15] desenvolveram uma plataforma de realidade virtual de baixo custo, denominada de *SMART Virtual Dental Learning*. Este sistema foi desenvolvido para ser usado em dispositivos móveis, como *tablets* e telemóveis, sendo que estes dispositivos apresentam um elevado grau de mobilidade e são bastante acessíveis monetariamente. O sistema foi desenvolvido com o intuito de criar um ambiente de aprendizagem virtual que permitiria ao aluno aprofundar os seus conhecimentos sobre os procedimentos e as ferramentas usadas. Um dos focos desta solução é a acessibilidade para o aluno, devido ao custo elevado que a maioria dos sistemas complementares na fase de treino do aluno apresentam. A solução foi desenhada para dispositivos móveis em conjunto com o *Google Cardboard*, sendo esta última uma plataforma de realidade virtual desenvolvida pela Google para ser usada como *Head Mount* para um dispositivo móvel. Este sistema permite instruir o aluno através de animações sobre os

procedimentos e demonstrações de modelos 3D acompanhado de observações instrucionais.

Geralmente, o primeiro passo nos procedimentos em medicina dentária é a aplicação da anestesia. No entanto, no ensino o comum é o aluno treinar a tarefa de administração de anestesia pela primeira vez num ambiente de clínica. Existem simuladores semelhantes aos fantasmas que permitem ao aluno treinar a administração da anestesia ou outros simuladores em formato de bancada com recurso ao fantoma que estão fora do alcance do comum aluno e geralmente a universidade não tem condições ou não aposta no investimento destes simuladores, dado o seu valor elevado.

Para abordar tal problema, Corrêa et al. [16] desenvolveram e validaram um simulador de realidade virtual para treinar a administração da anestesia dentária no nervo alveolar inferior, também denominada por anestesia troncular. O simulador foi implementado recorrendo à técnica de realidade virtual e a um dispositivo háptico. O simulador através da caneta háptica transmite ao utilizador uma força de *feedback* quando este realiza a tarefa de inserção da agulha no tecido mole. O sistema háptico consegue transmitir ao aluno uma sensação semelhante à de administrar a anestesia numa paciente real. Este trabalho utilizou a caneta háptica, *Phantom Omni*, que permite capturar os movimentos realizados pelo estudante que são reproduzidos num ambiente virtual. De forma a tornar o treino mais imersivo e próximo da realidade Corrêa et al. [16] optaram por adaptar a caneta háptica e acoplaram à caneta uma seringa carpule. Desta forma o estudante consegue realizar o treino manuseando o instrumento real, o que permite o aluno retirar diversas vantagens dado que este instrumento requer um manuseamento diferente do que a simples caneta háptica permite. O estudo realizado teve o foco na respetiva aplicação da agulha no local apropriado, a profundidade da agulha, bem como a resistência provocado pelos tecidos moles.

Neste ambiente de simulação os métodos de deteção de objetos adicionam alguma complexidade ao sistema e para o sistema não perder a sua capacidade de imersividade e realismo não pode existir atrasos na transferência do *feedback háptico*. Para superar tais desafios, foi aplicado o método *Octree*. Este método consiste em dividir o ambiente virtual em oito partes, que são denominadas por octantes. De seguida é determinado o octante em que se encontra o instrumento médico, sendo de seguida determinado o octante mais próximo. O octante mais perto é depois dividido novamente como inicialmente até existir uma distância mínima entre o octante que contém o instrumento médico e o octante que neste caso irá conter as estruturas anatómicas, como a mandíbula, os tecidos moles, língua, ou dentes, irá detetar a colisão. Após a colisão a força de resistência é calculada de acordo com a Lei de Hooke's, o que permite adicionar uma resistência constante para cada camada da estrutura anatómica representada, tendo em consideração o ponto de contacto do tecido e a posição da agulha. Com este método é possível provocar o *feedback* de tal modo semelhante ao real, que as forças laterais na agulha aumentam à medida que a profundidade da agulha aumenta.

O utilizador final da maioria de os simuladores da medicina dentária é o estudante, pelo que Bakr et al. [17] realizaram um estudo com alunos de 4.º e 5.º ano de medicina dentária recorrendo ao simulador Simodont [18], para determinar qual a opinião dos estudantes sobre estes simuladores.

Neste estudo foram realizados questionários previamente e posteriormente aos testes práticos com o simulador. Os questionários realizados previamente focaram-se em questões relativamente à im-



pressão e expectativas do sistema. Os questionários após a utilização focaram-se em determinar como foi a experiência, qual o grau de realismo das imagens 3D e do *feedback* de força, qual a utilidade do simulador como ferramenta de treino pré-clínico em medicina dentária e perceber se é tem potencialidade para ajudar a treinar a destreza e habilidades visuais-motoras.

Os estudantes de 4.º ano mostraram-se mais animados por experimentar estas soluções em relação aos de 5.º ano. No entanto, após a experiência os alunos de 5.º ano avaliaram a maioria dos aspetos de uma forma mais positiva que os alunos do 4.º ano. Tal acontecimento deve-se ao facto do simulador não corresponder às elevadas expectativas dos alunos do 4.º ano. [17]. Apesar de apenas utilizarem o simulador numa única sessão os alunos de 5.º ano sentiram-se mais confortáveis ao utilizar o sistema, levando a concluir que os alunos de 5.º têm mais experiência e mais destreza. Para os alunos de 4.º ano não se adaptarem muito bem ao sistema pode significar que poderá não estar acessível aos alunos que ainda não tenham adquirido determinado nível de experiência. No entanto, os alunos reconheceram o potencial do sistema no treino pré-clínico, no entanto, realçaram que o *feedback* do simulador deve ser complementado pelo *feedback* de um profissional, pelo que não desejam ser ensinados apenas através de máquinas.

O estudo de Rhienmora et al. [1] culminou no desenvolvimento de um simulador háptico virtual em duas fases. Na fase inicial desenvolveu o simulador com recurso à tecnologia de realidade virtual sendo depois expandido para suportar realidade aumentada. O objetivo da utilização da realidade aumentada deve-se ao facto de chegaram à conclusão de que conseguiriam permitir desta forma que o utilizador realizasse o treino numa postura correta. Um especialista avaliou o sistema, concluindo que as técnicas implementadas conseguem aproximar o ambiente de treino mais próximo do cenário real clínico, devido em parte como o manuseamento dos instrumentos é realizada. A solução recorre ao uso de dois marcadores, um para apresentar o dente virtual no *HMD*, marcador este que é colocado sobre uma plataforma lisa, como uma mesa. Para não ser necessário usar um segundo dispositivo háptico, existe outro marcador que permite que o utilizador o manipule com se de um espelho se tratasse, sendo que um espelho virtual aparece por cima do marcador no simulador.

Ben-Gal et Al. [19] realizaram um estudo sobre o simulador IDEA Dental, para determinar o potencial deste simulador como ferramenta de ensino sem o acompanhamento de um profissional, bem como a utilidade das tarefas a realizar. IDEA Dental é um simulador háptico de realidade virtual que recorre a técnicas de gamificação. Para treinar a destreza manual, foco do simulador, o aluno realiza diversos exercícios que estão divididos por níveis, na interface visual é apresentada a percentagem de tecido necessário remover ao utilizar a turbina. O tempo de cada exercício também aparece na interface acompanhado do número total de pontos adquirido através dos níveis. Segundo a avaliação a força de *feedback* transmitida pela caneta háptica não é realista e a forma como seguravam a caneta não era natural. Os exercícios deste simulador também não são sobre dentes, são apenas exercícios com o foco em treinar a destreza manual. Segundo a avaliação do trabalho, exercícios isolados são úteis para realizar uma aprendizagem individual de destreza manual.

Na área de implantologia os procedimentos são traumáticos para os pacientes e estes apresentam um risco devido à complexidade anatómica das operações na região maxilofacial, bem como do ele-

vado custo dos materiais. Para mitigar tais dificuldades é habitual recorrer a tecnologias assistidas por computador para simular o procedimento [20, 21] ou ajudar no planeamento do processo. A solução *Dental Implant Surgery Simulator* [20] permite reconstruir modelos de pacientes com base em tomografias. A simulação baseada em dados de pacientes reais permite identificar problemas que possam ocorrer durante as cirurgias de implantes e identificar uma solução. Este estudo permite identificar que diâmetro de brocas e qual a velocidade da turbina é ideal para determinado caso.

Estas soluções permitem reduzir o custo significativamente de experiências em cadáveres, sendo que tais experiências não cumprem as normas éticas. O treino com partes de cadáveres ou ossos de animais são muito utilizados no treino, no entanto, os materiais são de baixa qualidade e a experiência que oferecem encontram-se bastantes diferentes da realidade. Existe uma falha no treino de tal modo que os profissionais já são médicos dentistas quando recorrem a estes métodos de treino, sendo a outra possibilidade a prática através de casos reais. Ou seja, existe uma lacuna no desenvolvimento e acessibilidade de simuladores no ensino para a colocação de implantes numa fase pré-clínica. O simulador *SimImplanto* [21] foca-se num único passo da colocação de implantes, no procedimento de perfuração anterior à colocação do implante dentário na arcada dentária recorrendo a uma interface háptica. O simulador permite a modulação com base num modelo de gesso de um paciente real, sendo posteriormente realizado a digitalização do molde em gesso, recorrendo ao *Next Engine 3D Scanner*.

Existem diversas soluções comerciais, tais como *Kobra Simulator* [5], *Virteasy* [6], *Leonardo Training Simulator* [7], *Moog Simodont Dental Trainer* [8], *Voxel-Man* [22]. Estes tipos de simuladores seguem a abordagem de desenvolvimento em formato de bancada, pelo que o preço por um simulador/bancada pode variar entre 20.000\$ e 80.000\$. Alguns destes simuladores já conseguiram demonstrar o seu valor como ferramenta de treino que já estão acessíveis para treino pré-clínico em determinadas universidades.

A figura A.1, presente no Apêndice A, apresenta uma breve comparação de alguns trabalhos estudados. Devido ao tamanho da tabela esta apresenta-se no fim do documento.

## Capítulo 3

# Solução - Simulador Virtual DENTIFY

Na secção anterior, foi apresentada a literatura sobre simuladores virtuais aplicados em medicina dentária, bem como algumas das suas limitações. Com base no trabalho revisto, este novo capítulo pretende apresentar os detalhes técnicos da solução criada, DENTIFY, um simulador háptico de realidade virtual, com foco na fase de preparação de cavidades.

### 3.1 Arquitetura

Este capítulo introduz os detalhes de implementação da solução apresentada e avaliada. A solução, o Dentify consiste num simulador háptico de realidade virtual com foco na fase de instrumentação. A solução é composta por três módulos principais, o controlador da simulação, a interface háptica e o módulo de realidade virtual.

O formato de treino prático convencional, em ambiente pré-clínico, recorre maioritariamente ao treino com frascos e embora este seja o formato mais usual existem algumas limitações como já identificadas, tais como, a realização de um exercício ser irreversível, está implícita a aquisição de novos dentes de treino. São necessárias condições especiais para conseguir utilizar a turbina, todo o dente é composto por um único material não existindo assim diferentes camadas internas, como os dentes são na maioria de plástico, a resistência fornecida pelo frasco está longe da resistência oferecida pelos dentes reais, não existem limites definidos explicitamente no dente. Durante estas sessões de treino, os alunos obtêm pouco ou nenhum *feedback*, sendo que se torna mais complicado obter *feedback* durante a realização do exercício. Como também identificado no capítulo 2, existem algumas soluções em modo de bancada, com valores de aquisição elevados.

**Dentify** é um simulador desenvolvido no motor de jogos multiplataforma Unity3D, recorrendo à linguagem de programação C#. A escolha da plataforma de Unity3D deve-se ao fato de ser uma solução madura, de relativamente fácil prototipagem, suporta um motor de física de origem, o simulador não necessita de funcionalidades hiper-realistas, como texturas, luz, a plataforma é baseado em componentes que são aplicáveis aos modelos presentes num cenário, o desenvolvimento é também baseado em pedaços de código que são associados aos modelos. Outro fator importante está relacionado com

a fácil integração com o módulo de realidade virtual, recorrendo ao *plugin* suportado pelo Unity, *XR Interaction Toolkit*. Este *plugin* fornece uma API e um conjunto de funcionalidades de alto nível, sendo assim independente do sistema de realidade virtual usado, permitindo assim que não seja necessário um esforço adicional em configuração ambientes de realidade virtual, e realizar programação distinta para diversos óculos de realidade virtual. Adicionalmente a integração com a caneta háptica recorre a um *plugin* disponibilizado na loja da plataforma Unity.

Uma das interfaces do simulador com o utilizador é o módulo de renderização de todo o conteúdo visual. Os óculos de realidade virtual *Quest*, desenvolvidos pelo Facebook, foram os óculos adotados durante todo o processo de implementação e validação da solução. Os óculos *Quest* funcionam de base em modo autónomo, *standalone*, no entanto, é possível conectá-los ao computador recorrendo ao *Oculus Link*, sendo necessário ligar um cabo entre os óculos e o computador e ativar o modo Link. Este modo, permite transformar os óculos *Quest* em óculos Rift, sendo que os óculos Rift são uma solução de realidade virtual pronta para ser usada em conjunto com um computador.

Ao optar por uma solução de realidade virtual, todo o ambiente da simulação é virtual, permitindo assim que o utilizador tenha uma experiência imersiva, porque este consegue ficar totalmente focado no mundo virtual, sendo que não existem distrações do mundo exterior. Optou-se por uma solução de realidade virtual face a uma solução de realidade aumentada, pelo que fornece a capacidade ao utilizador de repetir diversas sessões de treino, sem necessitar de adquirir mais material, torna a experiência do utilizador mais imersiva porque bloqueia por completo o mundo exterior, permite apresentar sessões de treino baseadas em dentes reais com limites reais e validados por especialistas da área, num mundo totalmente virtual conseguimos simular os diversos tecidos e respetivas resistências, existe uma maior liberdade para realizar alterações nos modelos, sendo que recorrendo à tecnologia de realidade aumentada não é possível modificar os componentes que vivem no mundo real, apenas estender as suas capacidades.

No entanto, existem pontos negativos sendo necessário um investimento inicial mais elevado face ao treino com fracassos. No entanto, a solução implementada foi conseguida com um custo total de *hardware*, dentro dos 4 dígitos, abaixo de 2.000 €, ou seja, óculos de realidade virtual e caneta háptica. Face a soluções no mesmo âmbito em modo de bancada, que atingem os 5 dígitos, o Dentify apresenta um custo consideravelmente mais baixo face a outras soluções, no entanto, mais completas e maduras. No entanto, o investimento nos diversos aparelhos que compõem esta solução podem ter outras aplicações, podendo ser usados em conjunto com outras aplicações de treino médico, mitigando o elevado custo do material face ao treino com fracassos.

Sendo o foco do simulador na fase de preparação de cavidades, deve existir uma interface com um utilizador capaz de simular as ações realizadas na turbina. Assim, o simulador integra um dispositivo háptico, o *Touch Haptic Device* desenvolvido pela 3D Systems. Este dispositivo consegue simular as mesmas amplitudes de movimento realizados por um especialista ao manusear a turbina, permite também configurar a resistência oferecida bem como o nível de vibração. O processo de integração da caneta háptica com o simulador recorre ao *plugin 3D Systems Openhaptics® Unity Plugin* [23], desenvolvido e mantido pela 3D Systems.

A figura 3.1, permite identificar os três módulos mais importantes do sistema. O módulo de simulação é responsável por controlar toda a simulação, sendo composto por diversos sub-módulos, tais como o de configuração de exercício, deformação, *feedback* e estatísticas.

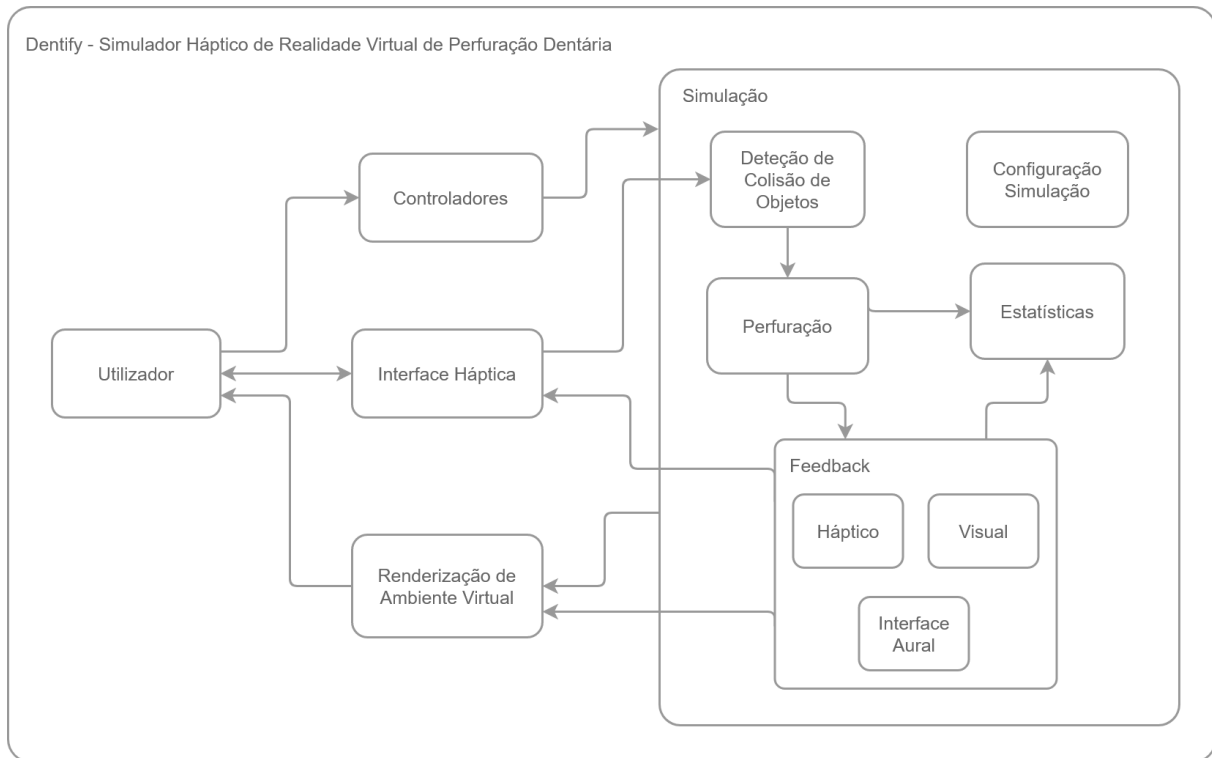


Figura 3.1: Arquitetura do simulador Dentify

O sub-módulo de configuração de exercícios, permite um utilizador preparar a sessão de treino. É possível definir o número de dentes, qual o tipo de cavidade a preparar, qual o modo da sessão, se é uma sessão de treino ou de avaliação, qual a mão dominante e se a interface aural deve estar ativa. Todas as configurações realizadas pelo utilizador são comunicadas ao controlador da simulação que se materializa na classe *SimulationManager*.

Os elementos essenciais à simulação são a turbina e o dente a deformar. Todos os tecidos que compõem o dente são compostos por um *script* responsável por tornar o modelo deformável, *script ImpactDeformableRemake*. Todas as turbinas suportadas, têm um modelo esférico que representa uma broca esférica e têm associado um *script* responsável por detetar colisões entre a turbina e o modelo, realizar o pedido de deformação do modelo e ativar ou desativar o *feedback* háptico, possibilitando assim o utilizador sentir a resistência consoante a área a ser deformada.

Para ser possível realizar a deformação, todos os tecidos possuem uma configuração de deformação, que indica a dimensão do raio da deformação, a rigidez do material, qual a velocidade a que o desgaste deve acontecer e qual a resistência háptica a transmitir ao utilizador.

Assim que o utilizador é introduzido no cenário da simulação, o controlador dos elementos visuais, materializando-se na classe *HandleSimulationUi*, é responsável por disponibilizar na simulação apenas uma turbina com uma broca e o dente correspondente ao exercício a realizar. Cada turbina suportada é

composta por um modelo de broca, sendo que cada broca tem associado a classe *DrillDeformation*. Na figura B.3, é possível verificar que assim que simulação se inicia, a cada execução do método *Update* da classe *DrillDeformation* é verificado se houve alguma colisão entre a broca e algum tecido que compõem o dente, sendo que internamente é determinado qual a camada em que realizar o desgaste e como realizar o desgaste, bem como qual a resistência oferecer com base na camada em que existiu a colisão.

A classe *DrillDeformation* segue a seguinte lógica para verificar as colisões entre a broca e o modelo do dente. Recorre-se à técnica de *raycast*, que tal consiste em emitir um raio partindo de uma posição bem definida, e que se move numa determinada direção. Ambas as brocas suportadas têm associado um feixe azul, que é emitido na direção onde o desgaste irá acontecer no modelo. A secção 3.4 descreve com mais detalhe o processo de deformação. Quando o *raycast* retornar uma lista de objetos em que existiu colisão, estes objetos são ordenados de forma ascendente. Caso o *raycast* encontre algum objeto e a distância entre a broca a superfície do tecido dentário seja inferior ao valor limite de contacto, então o som da turbina é modificado, para fornecer uma dica auditiva que existe deformação. Assim, é realizada a deformação do modelo, sobre o ponto onde existiu a colisão, tendo em conta as configurações de deformação para a camada. Após ser realizada a deformação numa camada esta fica marcada para na próxima execução da função *Update* em que não seja detetado qualquer colisão, o *collider* do modelo é atualizado, para refletir a deformação realizada.

O simulador suporta algumas situações de aviso, que se caracterizam por merecem uma atenção redobrada pela parte do utilizador. São suportadas as seguintes situações de aviso, proximidade da polpa, contacto com a polpa, contacto com a gengiva, contacto com os dentes adjacentes, aviso sobre deformações longas e deformações muito longas.

Detetar a proximidade da polpa é responsabilidade do modelo da polpa. O modelo foi coberto de *colliders* de diversos tamanhos, de forma a conseguir detetar facilmente a proximidade da broca, sendo que esta forma embora exija um esforço de preparação, não depende da direção da broca. Sendo que se a proximidade fosse detetada através da técnica de *raycast*, a proximidade só seria detetada se a direção do feixe azul estivesse a apontar para a polpa e se estivesse perto da polpa.

As situações de aviso que envolve contacto com a polpa, gengiva e dentes adjacentes são detetadas pela função responsável por detetar se houve colisão. Quando existem contactos com tecidos que não era expetável, a classe *DrillDeformation* avisa o *SimulationManager*, sobre o contacto detetado. A classe *SimulationManager* regista os contactos realizados e emite um evento de aviso com informação sobre o tipo de aviso, e qual a mensagem a apresentar visualmente, bem como qual a mensagem a ser lida pela interface aural. A classe *HandleSimulatioUi*, assume a responsabilidade de reagir quando aos eventos de avisos, sendo que apresenta a mensagem e modifica a cor da turbina para vermelho sólido durante três segundos, e simultaneamente invoca a leitura da mensagem pela interface aural, para despertar a atenção do utilizador. Quando existe contacto com a gengiva é responsabilidade da classe *DrillDeformation* ativar a animação da libertação das partículas de sangue no local onde houve o contacto.

A classe *SimulationManager*, assume a responsabilidade de contabilizar os tempos de contacto de

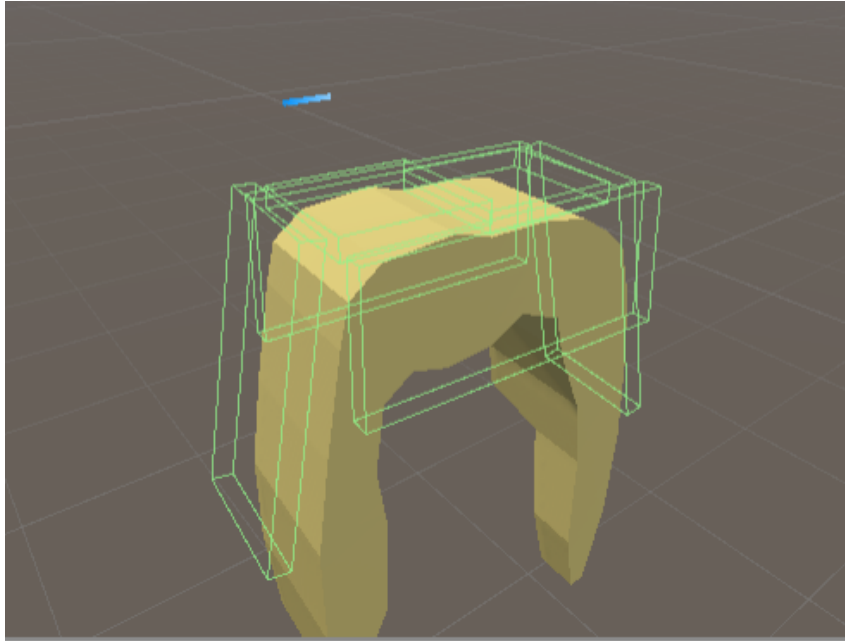


Figura 3.2: *Colliders* em redor do tecido dentário da polpa

instrumentação, sendo que se o tempo de contacto estiver entre os 3 e os 5 segundos o simulador vai emitir um aviso de contacto longo. Sendo que se o tempo de contacto exceder os 5 segundos, é emitido um evento de contacto muito prolongado. Estes tempos foram decididos com ajuda de um especialista na área da medicina dentária e partem do princípio de que a turbina não possui refrigeração. Uma turbina com refrigeração liberta água sobre a superfície do dente ao realizar o processo de degaste, torna-se difícil sobreaquecer os tecidos devido às altas rotações da turbina, sendo que a refrigeração torna o processo de preparação de cavidades mais seguro.

## 3.2 Ambiente de Simulação

A simulação decorre num ambiente virtual com recurso à plataforma Unity, sendo complementada com o dispositivo háptico e os óculos de realidade de virtual e os correspondentes controladores. O ambiente virtual é composto por três cenários. O primeiro cenário, figura 3.3 permite apenas definir o nome do utilizador, pelo que ao terminar um exercício de simulação as estatísticas do exercício realizado são exportadas para um ficheiro no formato JSON e organizadas numa pasta com o nome do utilizador, contendo estatísticas de exercícios anteriores. Este cenário não recorre à realidade virtual e para avançar na simulação, recorre-se ao rato.

Ao progredir na simulação, o utilizador é introduzido num novo cenário, figura 3.4, onde tem a possibilidade de configurar o ambiente de simulação. Aqui o utilizador pode escolher o número de dentes na simulação, sendo possível escolher entre 1 a 2 dentes, porque os modelos criados ou possuem apenas o dente a deformar ou possuem um dente adjacente ao dente a deformar, sendo que o dente adjacente é mais importante para o treino na preparação de uma cavidade de classe 2 em relação à preparação de uma cavidade de classe 1, porque como já identificado, a classe 2 envolve mais que



Figura 3.3: Primeiro cenário da simulação - Definição do nome do utilizador

uma face, envolvendo faces proximais, ou seja, uma face que está direcionada para um dente vizinho. Adicionalmente é possível escolher o tipo de cavidade a preparar, existindo a possibilidade de preparar uma cavidade do tipo de classe 1 ou classe 2.

O utilizador poderá indicar qual a mão dominante, que representa a mão que irá manipular a turbina, sendo que a simulação realiza os preparos necessários. A última lista de opções permite o utilizador indicar o modo do exercício, se é um exercício de treino ou se é um exercício de avaliação. O exercício em modo treino apresenta ajudas visuais e auditivas, enquanto em modo de avaliação, as ajudas visuais e auditivas são restringidas. Ou seja, no modo de avaliação, a interface aural apenas apresenta o exercício, como *feedback* auditivo existe apenas o som emitido pela turbina. Quanto às ajudas de *feedback* visual, não é apresentada a camada onde ocorre a deformação, não é indicado ao utilizador a ocorrência de qualquer situação de aviso, a assistente virtual não avisa, nem a turbina adquire a cor vermelho sólido. Permitindo assim o utilizador realizar o exercício num formato muito semelhante ao treino de frasco em pré-clínico, sem ajudas adicionais. Para finalizar as opções de configuração, o utilizador, pode ainda indicar que pretende desativar ou ativar a interface aural, que é responsável por todo o *feedback* auditivo.

A última opção de configuração, permite indicar se é pretendido ter acesso a um modelo translúcido semelhante ao modelo do dente a ser deformado, durante toda a simulação. O modelo translúcido do dente semelhante ao dente a ser deformado serve para os participantes observarem a composição do dente durante o processo de instrumentação. Este é o primeiro cenário que recorre à realidade virtual, sendo que o utilizador necessita dos óculos de realidade virtual para observar todo o mundo virtual, onde está inserido o painel com as configurações. Para interagir com o mundo virtual, ou seja, para selecionar as opções de configuração, o utilizador necessita de usar um dos comandos que pertencem ao conjunto de material de realidade virtual. Pode usar qualquer comando porque a simulação ainda não tem conhecimento sobre qual a mão predominante do utilizador, mão que irá assumir o controlo da turbina, ou seja, da caneta háptica.



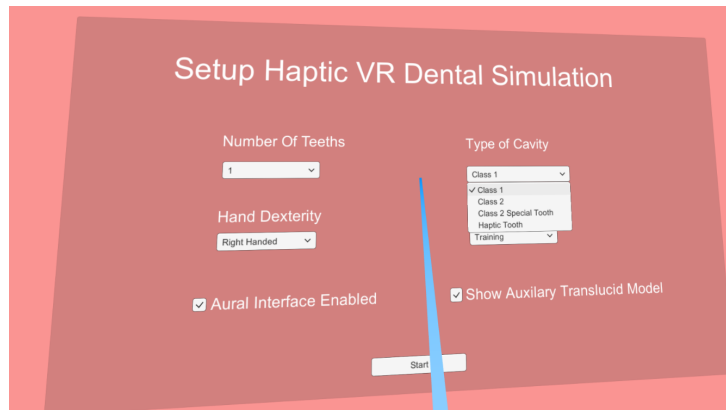


Figura 3.4: Segundo cenário da simulação - Configuração da simulação

Ao avançar, o utilizador entra no cenário onde irá decorrer toda a simulação, correspondendo assim ao último cenário da simulação. Ao entrar no novo cenário, é apresentado um painel no ambiente virtual contendo a descrição do exercício, figura 3.5, onde adicionalmente e como previamente identificado na secção 3.5, a interface aural irá proceder à leitura da descrição do exercício. A descrição do exercício varia ligeiramente de acordo com a cavidade a preparar. A realização do exercício inicia-se quando o utilizador pretender prosseguir com a simulação e clicar no botão *OK*.

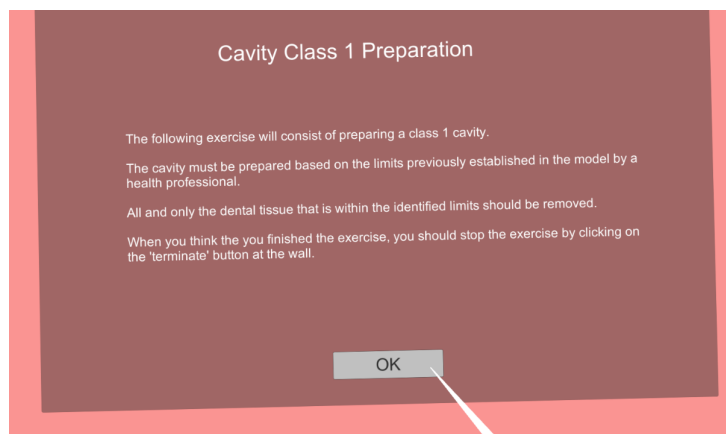


Figura 3.5: Simulação - Descrição do exercício

Iniciando a simulação, é simultaneamente iniciado um temporizador que é responsável por determinar a duração da simulação. Ao iniciar, o utilizador consegue visualizar imediatamente à sua frente parte da turbina, o dente a deformar, uma réplica do dente a deformar, mas com todas as camadas no modo translúcido, que pretende servir de guia, permitindo visualizar quais e onde estão as camadas internas que compõem o dente, figura 3.6. Inicialmente, a turbina encontra-se atrás do dente a deformar, sendo esta uma boa posição inicial para a caneta, para o dente estar incluído nos limites da caneta. Sendo que se o dente e respetivamente a caneta háptica se desviar dos limites ideais definidos pelo *plugin* da caneta háptica, esta fica próxima de atingir o seu limite de amplitude e por vezes existe uma vibração excessiva por parte do dispositivo háptico. Embora na simulação não estejam identificados os limites da caneta háptica, o controlador dos óculos virtuais é estático, portanto o utilizador irá tentar manter o dente próximo de si, o que ajuda a manter a caneta nos limites estabelecidos pelo *plugin*.



Figura 3.6: Simulação - Visão inicial

Caso o utilizador seja destro, à sua esquerda está localizado um painel, 3.7 que permite realizar algumas ações na simulação, sendo a maioria de ações de ajuda. Para interagir com o painel o utilizador pode fazê-lo recorrendo ao controlador na sua mão esquerda, enquanto o utilizador canhoto irá recorrer ao controlador direito e o painel irá estar localizado do lado direito. O comando funciona assim como um apontador. Neste painel o utilizador tem acesso à informação como qual o modo de simulação, qual o exercício, qual o tempo já decorrido da simulação e qual o tempo médio de contacto. O utilizador pode requisitar ver novamente o objetivo do exercício. É possível colocar o dente na sua posição inicial, dado que é possível manipular a posição do dente em conjunto com a posição do dente auxiliar translúcido.

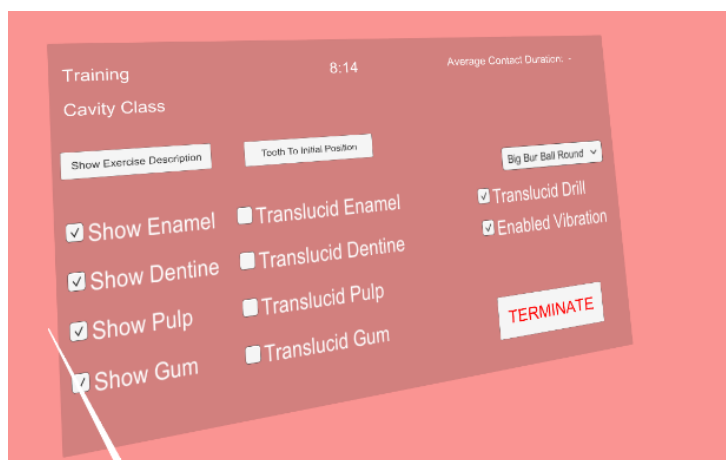


Figura 3.7: Simulação - Painel de apoio

Como ações auxiliares, no painel existem opções que permitem esconder as diferentes camadas do dente, como o esmalte, a dentina, a polpa e a gengiva. Adicionalmente, também é possível tornar as camadas translúcidas, separadamente, permitindo assim observar as camadas abaixo. O utilizador pode ainda tornar a turbina translúcida. Existe também a opção de desabilitar o efeito háptico de vibração retornado pela caneta durante a simulação. Para finalizar as opções fornecidas no painel, existe um simples menu que permite escolher entre dois tipos de brocas. Ambas as brocas, apresentam o mesmo formato esférico e são assim diferenciadas apenas no seu diâmetro.

A criação de ambos os modelos das brocas foi através do *software* Blender. Foram realizados experimentos para conseguir obter um modelo virtual baseado numa turbina e brocas reais, recorrendo

à tecnologia de fotogrametria, em inglês *photogrammetry*, usando o *software* Meshroom. A ideia do *software* é conseguir criar um modelo virtual 3D com base em diversas fotografias de diversos ângulos de um determinado modelo. No entanto, não foi conseguido gerar um modelo 3D usável com base em fotografias, sendo então os respetivos modelos criados a partir do *software* Blender.

O próximo passo da simulação, será preparar uma cavidade com base na descrição apresentada pelo simulador. Para realizar a deformação o utilizador apenas precisa de manipular a caneta háptica como se estivesse a manipular uma turbina e aproximar a ponta da turbina da superfície do dente para realizar o desgaste.

Quando o utilizador terminar o exercício, este deve recorrer ao controlador na mão, para clicar no grande botão com letras vermelhas **Terminate**, que se encontra no painel. Após o clicar, a caneta háptica é desativada, o modelo do dente deformado bem como o modelo correspondente ao dente translúcido são escondidos e é apresentado um painel com uma mensagem de finalização do exercício, sendo assim persistidas as estatísticas resultantes do desempenho na simulação.

O simulador recolhe os seguintes dados provenientes de uma simulação.

- Tipo de Exercício (tipo de cavidade, número de dentes, tipo de sessão)
- Configuração da Simulação (mão dominante, interface aural e modelo translúcido usados)
- Manipulação da Visualização dos tecidos (escondeu-se ou tornou-se translúcidos os tecidos)
- Tempo de Simulação
- Tempo de Instrumentação
- Número de Contactos
- Ocorrência de diferentes tipo de avisos (contacto com polpa, com a gengiva, com dente adjacente, contactos prolongados e contactos muito prolongados)
- Tempo médio de contacto com a turbina
- Tempo de contacto mais longo

### 3.3 Processo de Criação de Casos de Treino

A solução apresentada, suporta até 4 casos de sessões de treino. Existe a possibilidade de preparar cavidades de classe 1 e de classe 2, sendo que os restantes casos são variantes. Portanto, é possível realizar uma sessão de treino onde é possível preparar uma cavidade de classe 1, que contém apenas um único dente na simulação, ou com um dente adjacente adicional. É também possível preparar uma cavidade de classe 2 com um dente apenas, ou também com um dente adjacente. O dente adjacente no exercício de cavidade classe 2 encontra-se do lado onde é necessário realizar a *box*, denominada por caixa proximal, que transforma a cavidade de classe 1 numa cavidade do tipo classe 2.

A caixa proximal, refere-se ao desgaste realizado na face proximal. Relembrando, que a face proximal refere-se à face que está direcionada para um dente vizinho. A figura 3.8 indica onde está situada a caixa proximal.

O dente adjacente encontra-se do lado onde é necessário realizar a caixa proximal para ajudar a treinar a destreza e para adicionalmente transmitir a sensação de cuidado adicional ao realizar a preparação da cavidade quando os instrumentos cortantes rotatórios se encontram perto de dentes adjacentes. No entanto, num ambiente clínico é usual recorrer à matriz, figura 3.9 que poderá ser um pedaço metálico, que serve para proteger o dente adjacente, para mitigar os contactos não intencionais com um dente adjacente usando os instrumentos cortantes rotatórios.

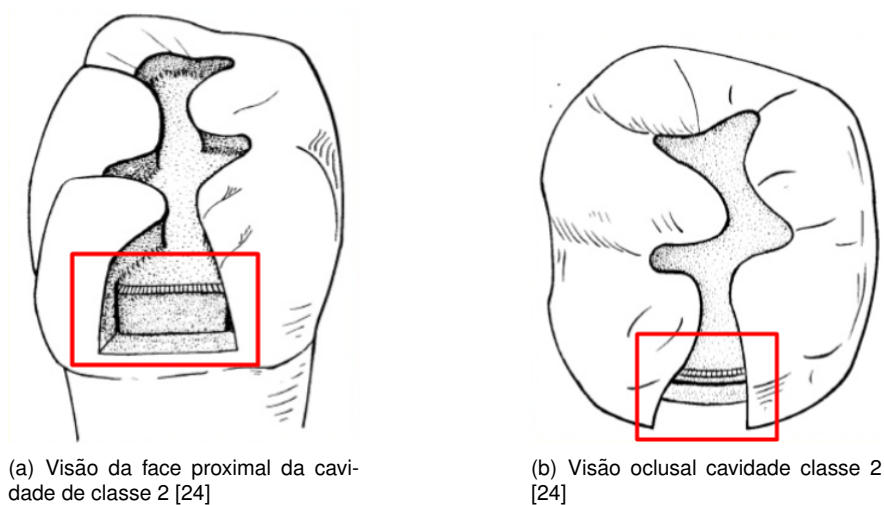


Figura 3.8: Localização da caixa proximal em cavidade de classe 2



Figura 3.9: Dente envolvido por matriz metálica

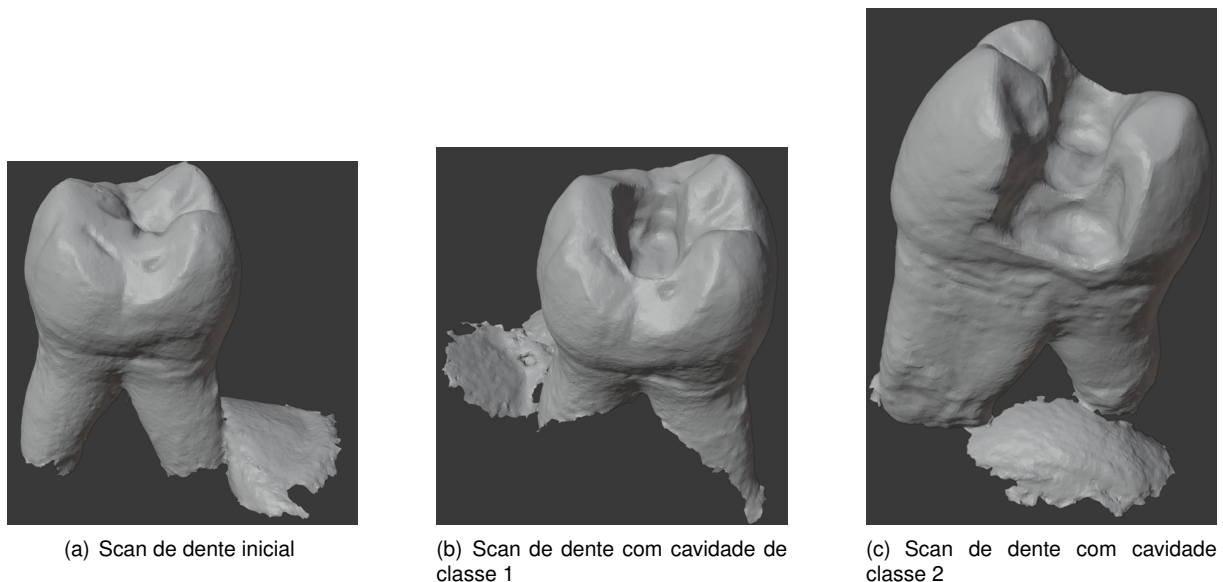
Os casos apresentados pelo simulador, são baseados em dentes reais, assim como os limites apresentados. A assistência de um especialista na área de dentisteria foi essencial para conseguir obter um dente e os respetivos limites da cavidade num formato digital. O especialista, escolheu um dente molar real, do banco de dentes, ou seja, os dentes quando são removidos na clínica da I.U.E.M. estes podem ser recolhidos para investigação ou para serem usados em sessões de treino dos alunos. Após o dente ser selecionado e limpo, foi realizado um *scan* intraoral antes de ser realizada qualquer preparação de

cavidades, recorrendo ao aparelho *Dental clinic 3D scanner 3M True Definition* desenvolvido pela 3M Oral Care, apresentado na figura 3.10. Desta forma foi possível obter um modelo virtual do dente a instrumentar e este modelo serviu como base para todos os exercícios apresentados no simulador.



Figura 3.10: Dental clinic 3D scanner 3M True Definition [25]

O especialista na área de dentisteria, prosseguiu com a preparação de uma cavidade do tipo classe 1 seguido de uma cavidade do tipo classe 2. Após a preparação de ambas as cavidades foram realizados novos *scans*. As imagens apresentadas na figura 3.11 permitem observar os resultados dos *scans* antes e após as preparações de ambas as cavidades, classe 1 e classe 2.



(a) Scan de dente inicial

(b) Scan de dente com cavidade de classe 1

(c) Scan de dente com cavidade classe 2

Figura 3.11: Scans de um dente molar e preparação de cavidades do tipo classe 1 e 2

Os *scans* realizados, originaram ficheiros no formato STL, que foram posteriormente manipulados recorrendo ao *software* de modelação 3D Blender. A área do dente que poderia ser negligenciada no modelo, por não ser essencial à simulação, seria a área da raiz. Em todos os *scans* é possível visualizar

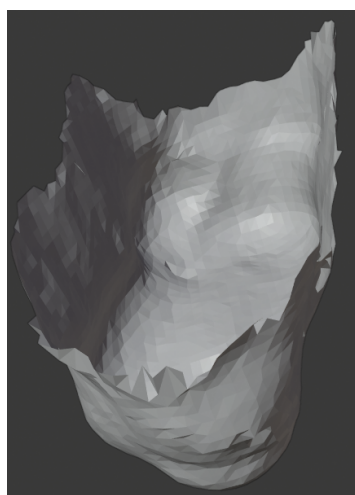
algumas falhas no modelo do dente na parte inferior das raízes, devido à forma como foi realizado o *scan*, dado que este estava seguro com a mão. Assim, não foi possível obter o *scan* de dentes na sua totalidade, sendo que existem falhas no modelo a nível da raiz. Os *scans* forneceram modelos com um nível de detalhe bastante bom e sem praticamente nenhuma falha na coroa, superfície superior do dente. Os *scans* resultaram em modelos com cerca de 30.000 vértices.

O desenvolvimento de todos os casos de treino suportados pelo do simulador recorreram aos modelos de dentes que originaram da sessão de preparação de cavidades por um especialista na área. Inicialmente, foi considerada outra estratégia, que consistia em usar *scans CBCT, Cone Beam Computer Tomography*, em português significa Tomografia Computadorizada de Feixe Cónico, no entanto, na altura existiam ainda diversos desafios por resolver, tais como, identificar o processo de adição dos limites das cavidades ao modelo, como realizar a deformação no modelo, como usar o *scan* gerado no programa de modelação 3D e adicionalmente seria preciso realizar um pedido ao comité de ética para poder usar no nosso estudo *scans CBCT* de casos reais, com a possibilidade de demorar a obter uma resposta final positiva. Portanto, apesar do *scan CBCT* apresentar elevados detalhes sobre a estrutura interna, sendo possível obter o modelo da mandíbula, da arcada completa, foi optado em avançar com a solução do *scan* intraoral, cujo processo de modelação apresentava ser mais viável.

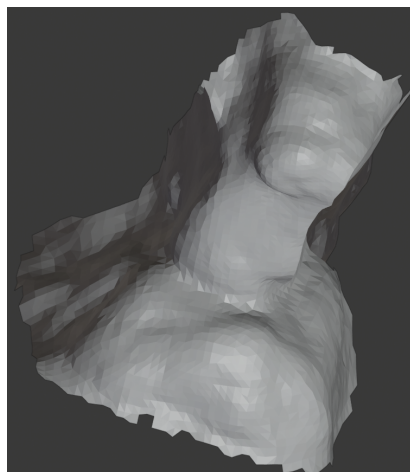
A ideia seguida para os exercícios de preparação de cavidades do simulador consiste em preparar cavidades com base em limites criados por especialistas na área da dentisteria. Esta estratégia segue a mesma metodologia seguida nas aulas práticas de pré-clínico, onde o docente descreve os requisitos do exercício indicando os limites da área da cavidade a preparar. Esta metodologia, é usada em ambiente pré-clínico porque a dentisteria segue cada vez mais uma abordagem conservadora e o número de dentes reais disponíveis não é suficiente para todos os alunos realizarem sessões de treino apenas com os dentes reais. Como não é possível usar sempre dentes reais, os docentes apresentam os limites da cavidade a preparar e os alunos têm de realizar uma cavidade com base nas especificações indicadas pelos docentes. Desta forma, o simulador apresenta uma simulação dos exercícios realizados nos frascos, em ambiente pré-clínico.

Após as preparações das cavidades pelo especialista, foram obtidos três *scans*, um *scan* do dente original e outro *scan* com a cavidade classe 1 e o *scan* final apresentava a cavidade classe 2. A próxima etapa consistiu em obter os limites de ambas as cavidades, classe 1 e classe 2. Para tal, sobrepôs-se o modelo com a cavidade classe 1 com o modelo do dente sem deformações, de forma a obter os limites da preparação da cavidade de classe 1. Para obter os limites da preparação da cavidade de classe 2 seguiu-se o mesmo procedimento, mas usando o modelo com a cavidade de classe 2. As imagens na figura 3.12, descrevem os limites criados com base na sobreposição dos modelos.

Após o processo de extração dos limites das respetivas cavidades, tornou-se possível associar ao dente original, sem cavidades, os limites da cavidade de classe 1 ou classe 2. Assim, foi possível replicar o modelo de dente sem deformações e adicionar no seu interior, no mesmo local onde as deformações ocorreram, os limites extraídos dos *scans* com as cavidades preparadas. No entanto, ainda estavam em falta as restantes camadas internas do dente, denominadas por tecidos duros. Sendo os tecidos duros em falta mencionados, compostos pela dentina e a polpa. O esmalte é um tecido duro,



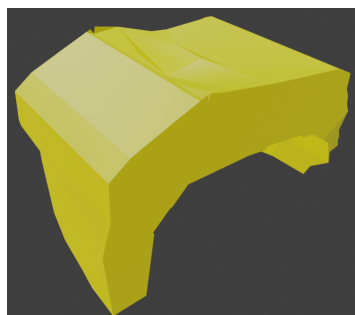
(a) Limites da cavidade classe 1



(b) Limites da cavidade classe 2

Figura 3.12: Limites das respectivas cavidades classe 1 e 2 preparadas por um especialista em Dentisteria

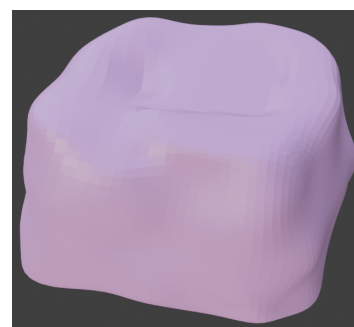
mas a camada do esmalte é composta pela superfície do modelo obtido com recurso ao *scan*. Para adicionar as restantes camadas em falta, recorreu-se novamente ao *software* Blender, para criar uma dentina e polpa virtual. A dentina e polpa virtual foram criadas com base em imagens 2D que descrevem a anatomia do dente. De forma a aproximar um pouco mais o dente apresentado da realidade, foi adicionado em volta do dente um tecido mole, a gengiva. A figura 3.13 descreve os tecidos virtuais criados e adicionados aos modelos de dentes a usar na simulação.



(a) Dentina Virtual



(b) Polpa Virtual



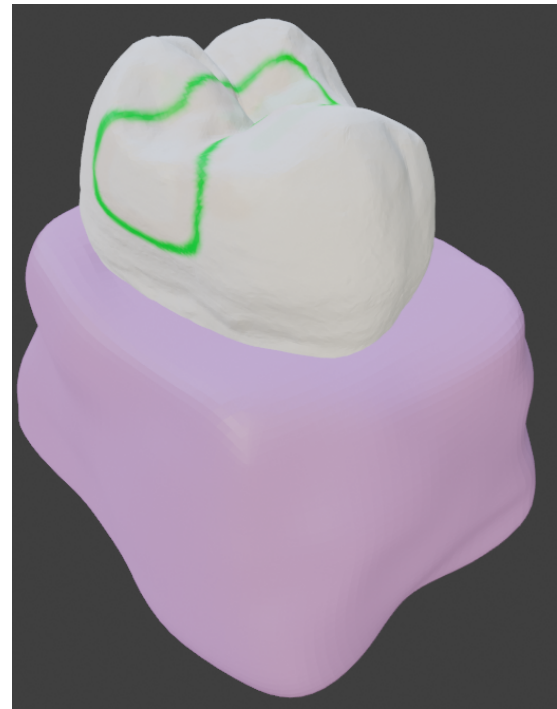
(c) Gengiva Virtual

Figura 3.13: Tecidos duros e moles virtuais adicionados aos modelos dos dentes usados na simulação

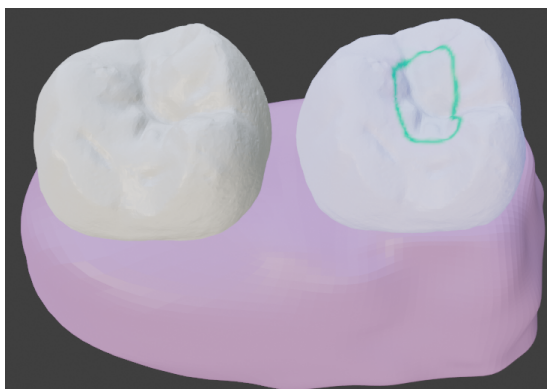
As seguintes imagens, que compõem a figura 3.14, apresentam todos os dentes suportados e prontos a serem usados nos exercícios de preparação de cavidades no simulador. Como os limites de ambas as cavidades residem no interior do dente, seria praticamente impossível o utilizador ser capaz de identificar o local exato onde se encontram os limites. Portanto, de forma a mitigar o problema de identificação da localização exata a realizar a preparação da cavidade, na superfície do dente, no esmalte, foram coloridos alguns vértices, de forma a apresentar um guia de onde deveram ser realizadas as cavidades, segundo os limites existentes. Por baixo das zonas indicadas a verde, encontram-se os limites da cavidade a realizar.



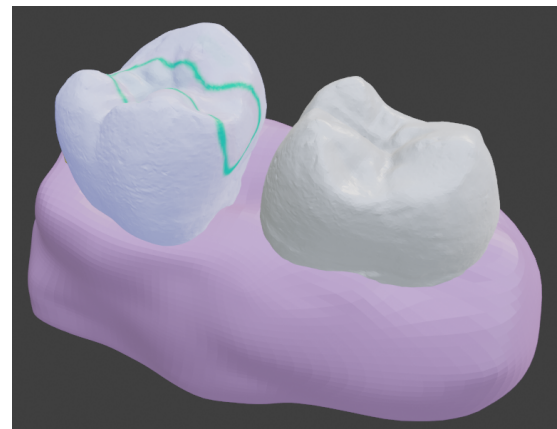
(a) Exercício de Cavidade Classe 1



(b) Exercício de Cavidade Classe 2



(c) Exercício de Cavidade Classe 1 com dente adjacente



(d) Exercício de Cavidade Classe 2 com dente adjacente

Figura 3.14: Dentes suportados no simulador, com os repêstivos limites assinalados a verde

O processo de criação de novos casos de simulação é um processo manual que envolve algum esforço, porque é necessário limpar o *scan*, moldar ou criar tecidos virtuais para o novo dente. Adicionalmente, se existir a necessidade de usar dentes reais é ainda necessário realizar um *scan* do dente, para obter em formato digital a topologia do dente, e caso sejam necessários novos limites, é necessário o auxílio de um especialista na área, para preparar corretamente a cavidade. Esta limitação, deve-se ao fato da solução, não apresentar um editor de casos, que poderia adicionar dentinas, polpas e gengivas virtuais pré-criadas, que poderiam facilmente ser manipuladas para serem ajustadas aos novos *scans*.



### 3.4 Processo de Deformação de Tecido Dentário

Conseguir simular o processo de deformação foi o grande desafio de implementação deste trabalho. Os modelos 3D dos dentes, obtidos através dos *scans* discutidos na secção anterior - 3.3, são compostos por polígonos. Entende-se por polígono, uma figura fechada com lados. Um modelo 3D pode ser composto por triângulos, 3 vértices, 3 arestas, representando assim a menor configuração para criar um polígono, o modelo pode também ser composto por quadriláteros, 4 vértices e consequentemente 4 arestas, ou por polígonos com mais de 4 vértices e arestas. Os polígonos com mais de 4 vértices são desaconselhados quando se pretende manipular, exportar e realizar subdivisões no modelo, como é o nosso caso. Entende-se por subdivisão o processo de dividir um polígono em diversos polígonos, permitindo aumentar assim o detalhe do modelo.

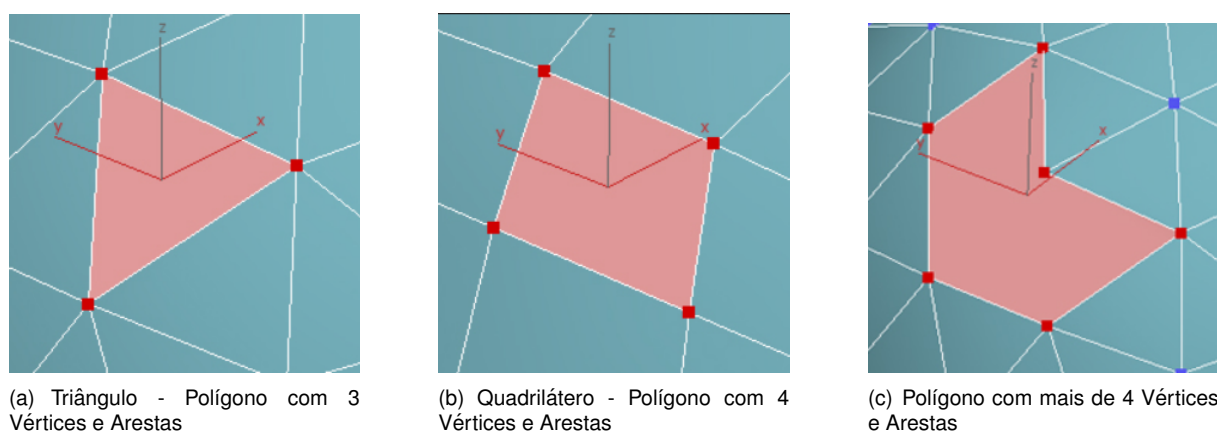
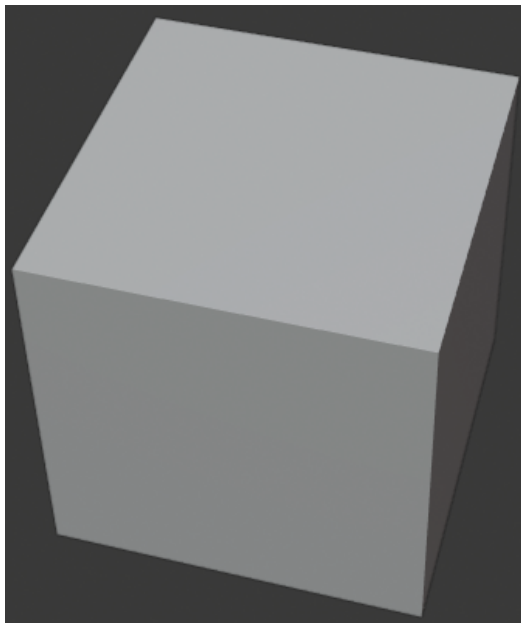


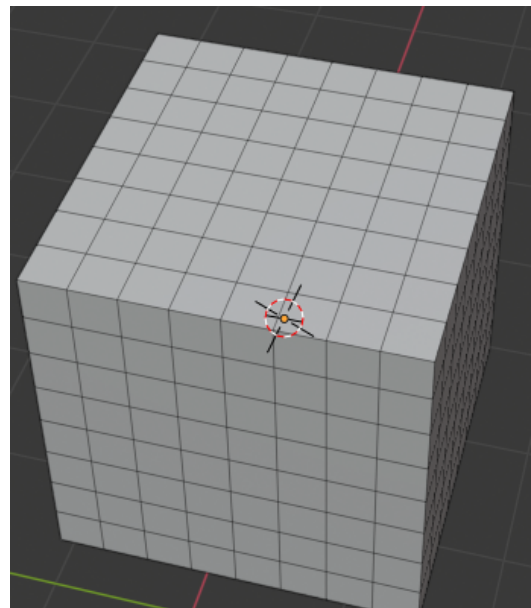
Figura 3.15: Polígonos com diferentes configurações [26]

Assim, os modelos do dente, bem como as restantes camadas que compõem o dente criadas manualmente, são compostas por triângulos, *\*tri\**, ou quadriláteros, *\*quads\**, de forma a facilitar a manipulação dos modelos. O *scan* realizado ao dente representa a camada do esmalte e resultou numa topologia bem detalhada, composta por triângulos, sendo o modelo completado com triângulos adicionais nos locais com falhas. Os modelos da dentina, polpa e gengiva, precisaram de ser submetidos ao processo de subdivisão para se conseguir obter um nível considerável de detalhe para ser possível realizar a deformação do modelo. Para o modelo da gengiva não ser apresentado como um bloco sólido e de forma a parecer mais realista, recorreu-se ao modo de escultura, do *software* Blender, para adicionar alguma curvatura ao modelo de forma a suavizar e dar a aparência de um tecido mole. A figura 3.16 demonstra a evolução do processo de criação da gengiva.

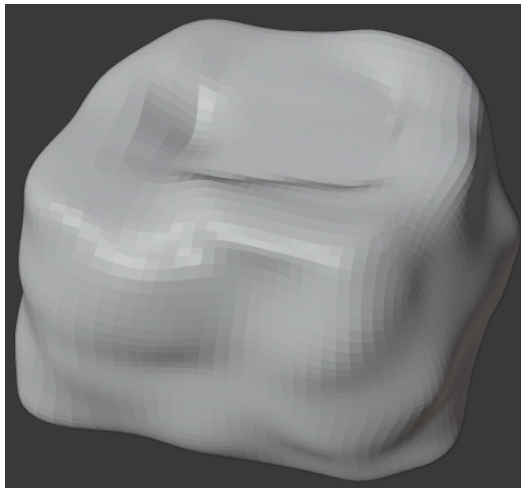
A estratégia inicial seria recorrer a operações *CSG*, *Constructive Solid Geometry* em português significa Geometria Sólida Construtiva, para realizar as deformações nos diversos tecidos dentários. Esta técnica permite construir um novo modelo recorrendo a operações booleanas, tais como a união, a intersecção e a diferença. Sobre um modelo inicial são aplicadas diversas operações recorrendo a diversas formas. Estas formas são por norma denominadas de pincel, *brush* em inglês, que definem como o modelo será modificado, através da posição em que é aplicado o pincel no modelo em conjunto com a operação usada. Simuladores recorrendo a operações de *CSG*, o modelo inicial seria o dente



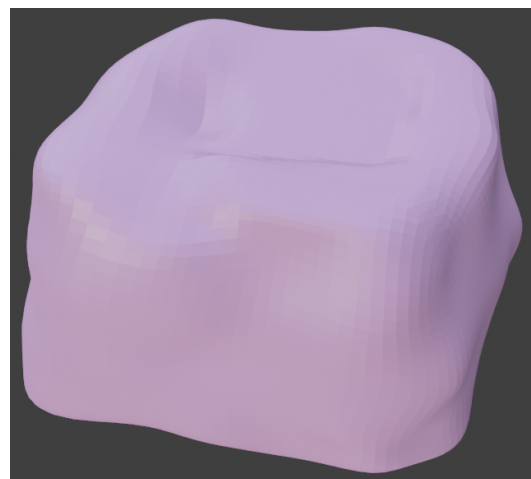
(a) Etapa 1 - Cubo



(b) Etapa 2 - Subdividir o Cubo para obter mais detalhe na topologia



(c) Etapa 3 - Esculpir o modelo de forma a assemelhar-se à gengiva



(d) Etapa 4 - Aplicar um material ao modelo

Figura 3.16: Evolução do processo de criação da gengiva

e o pincel seria a broca e seria sempre aplicada a operação de diferença, de forma a esconder no modelo do dente a área onde houve contacto com a broca, transmitindo assim para o utilizador a ilusão de desgaste no dente. Esta estratégia permite criar um corte limpo no dente, como acontece no real.

A figura 3.17 demonstra como é possível criar um modelo, com base noutros sólidos e operações booleanas. É possível extrair a ideia de como seria a deformação realizada num dente, recorrendo à operação de diferença.

Como a plataforma usada, Unity, não fornece suporte para as operações booleanas, foi necessário realizar alguma investigação sobre *plugins* para o Unity capazes de suportar as técnicas de *CGS*, sendo que foram encontrados alguns *plugins*. Em contrapartida, outros motores de desenvolvimento de jogos já suportam de raiz estas operações, tais como Unreal e Godot. No entanto, os *plugins* encontrados

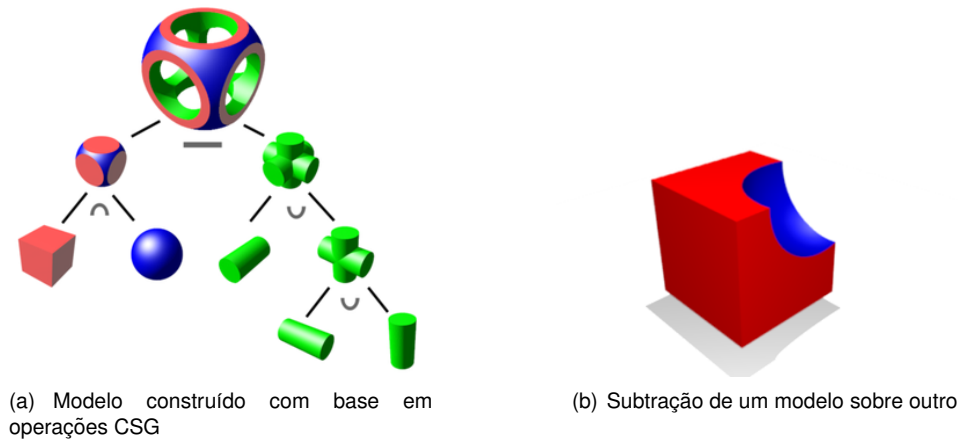


Figura 3.17: Exemplos de modelos construídos recorrendo a operações de CSG [27]

não cumpriam os requisitos necessários. Os *plugins* ou não permitiam realizar operações booleanas sobre um modelo personalizado, que seria o dente usado na simulação, ou não estavam preparados para lidar com o número de vértices apresentados pelo dente digitalizado. Nos restantes casos as operações booleanas suportadas apenas ofereciam um efeito visual, sendo que as diversas camadas do dente não sofriam deformação, existia apenas uma manipulação da componente visual dos modelos. Como o modelo não era deformado, nem os componentes que detetam a colisão, a broca não seria capaz de reconhecer a superfície deformada, quando a broca consegue detetar a superfície.

A próxima estratégia apresentada corresponde à estratégia adotada para realizar o processo de deformação nos tecidos dentários presentes na simulação. Geralmente os modelos 3D são compostos apenas por polígonos que permitem representar o formato, a superfície, do modelo, o que consequentemente implica que os modelos sejam ocos, ou seja, não possuem nada no seu interior. O processo de deformação num dente real envolve a remoção de tecido porque este é um bloco sólido, composto por material no seu interior, no entanto, quando apenas temos um modelo 3D de um dente que apenas representa o formato do dente, como é o caso dos dentes apresentados até agora, figuras 3.11 e 3.14, não é possível seguir uma estratégia semelhante para remover o tecido do dente, isto porque não existe nada no seu interior. Ou seja, caso fosse removida a zona no dente onde existiu contacto com a broca, iria ser criado um buraco no modelo como podemos ver na figura 3.18, sendo que este não é o resultado pretendido.

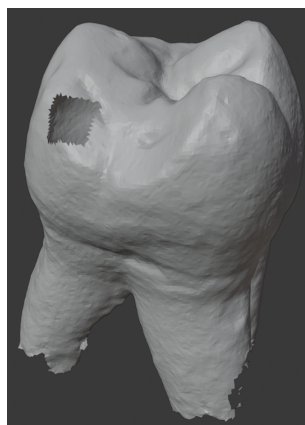


Figura 3.18: Dente com pequena área removida da superfície do tecido dentário

Assim, como os dentes usados resultaram de *scans* e não da geração de modelos programaticamente, a estratégia usada para simular a deformação dos tecidos consiste em mover os vértices do modelo nos respetivos locais onde a broca entra em contacto. A deformação depende da broca usada, bem como o tecido em que a broca entrou em contacto. Esta estratégia para conseguir realizar a deformação de forma a corresponder às expectativas, requer que a área a ser deformada no modelo apresente algum detalhe, ou seja, deve existir um número de vértices elevado, de forma ao processo de deformação acontecer de forma suave, caso contrário, existe pouco detalhe e os vértices estão mais afastados e o desgaste será mais irregular. Estas soluções permitem relativamente bons resultados quando as áreas de deformações são grandes, 3.19 e quando existe um grande detalhe na área de deformação.

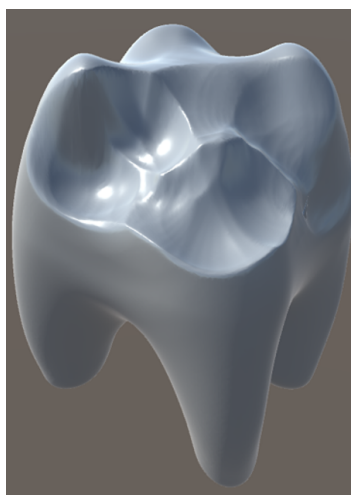
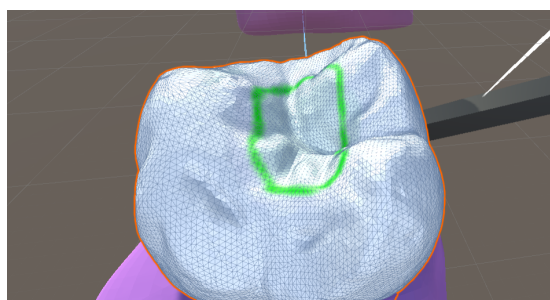


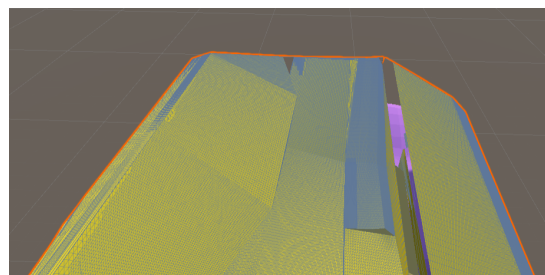
Figura 3.19: Dente deformado recorrendo a um raio superior ao raio das brocas convencionais

Na figura 3.20 podemos ter uma ideia da densidade de polígonos presentes nas faces dos diversos tecidos dentários onde é esperado realizar deformações. Como podemos verificar, a gengiva, tem um detalhe consideravelmente menor, resultado assim num desgaste mais abrupto.

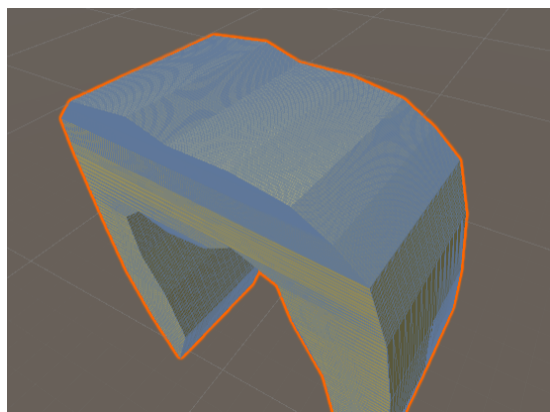
Inicialmente, iniciou-se o desenvolvimento de um módulo responsável por realizar esta estratégia de deformação, movendo os vértices, mas após alguns resultados inconsistentes, encontrou-se na loja do



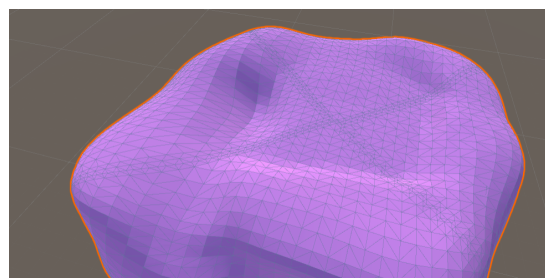
(a) Polígonos do tecido de esmalte



(b) Polígonos do tecido de dentina



(c) Polígonos do tecido de polpa



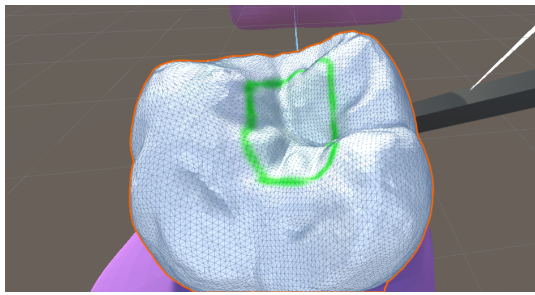
(d) Polígonos do tecido de gengiva

Figura 3.20: Densidade de polígonos das diferentes camadas

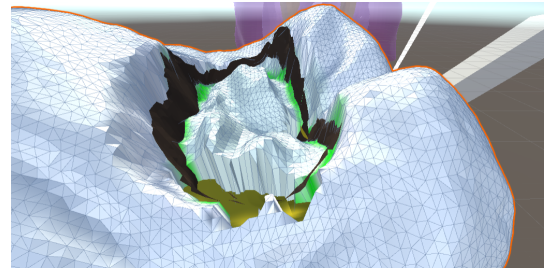
Unity, o *plugin Impact Deformable* [28], focado especialmente neste tipo de deformação, com desenvolvimento ativo e mantido por diversos anos. Optou-se assim, por passar a responsabilidade de realizar o processo de deformação para o *plugin*, que apresenta ser uma solução já madura relativamente a este tipo de deformações.

Após realizar as deformações nas diferentes camadas, o *plugin* inicialmente modificava posteriormente os componentes responsáveis por detetar colisões nos modelos, os *colliders*. No entanto, como os modelos usados contém um número considerável de vértices, acontecia que por vezes ao realizar um exercício de simulação com os óculos de realidade virtual, o processo de deformação apresentava alguma latência, provocando atrasos entre as modificações, o que interferia com a experiência apresentada ao utilizador. Para mitigar esta situação, o *plugin* foi adaptado para realizar apenas as alterações aos *colliders*, no momento em que o processo de deformação terminar, ou seja, assim que a broca deixa de deformar o dente, os respetivos *colliders* são atualizados, deixando assim de existirem constantes e desnecessárias atualizações aos *colliders*. As imagens presentes na figura 3.21, permitem observar a evolução da preparação de uma cavidade do tipo de classe 1, onde existe a deformação do tecido de esmalte e dentina.

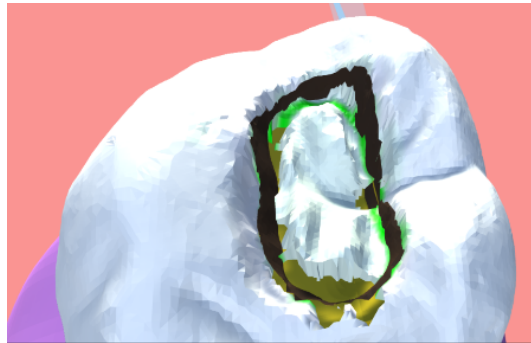
Seguindo esta estratégia para realizar a deformação, significa que é necessário identificar uma forma de conseguir realizar a deformação nas seguintes camadas internas, como a dentina e a polpa, sem que as diversas camadas interfiram entre elas. É necessário dar atenção a esta situação, porque caso contrário, ao deformar uma camada no topo de outra, por exemplo, o esmalte e a dentina, quando o esmalte, numa determinada área, se encontrar bastante próximo da camada abaixo, a dentina, o



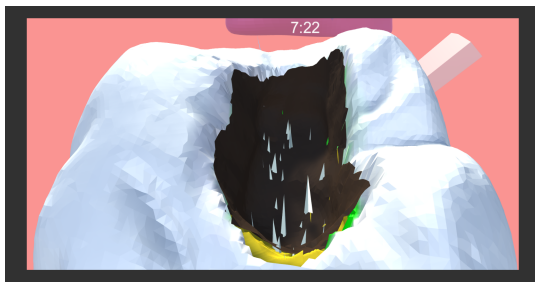
(a) Dente Inicial



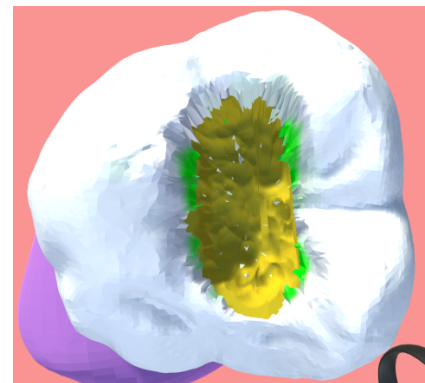
(b) Início do preparo da cavidade de classe 1, começando a preparar a cavidade de fora para dentro



(c) Vista oclusal do preparo da cavidade



(d) Resultado da preparação da cavidade de classe 1, com os limites no modelo, marcados pela região castanha



(e) Vista oclusal sobre o resultado da preparação da cavidade de classe 1, sem os limites

Figura 3.21: Evolução da preparação de uma cavidade do tipo Classe 1

desgaste do esmalte, iria afastar o esmalte deformado imediatamente para baixo da camada da dentina, e conseqüentemente, de seguida, a broca irá realizar o próximo desgaste na camada da dentina, sendo que esta é a camada que está visível, no entanto, após o desgaste ser realizado na camada da dentina, iria surgir novamente a camada do esmalte, se que na área do desgaste, como se chegou até à dentina não deveria ser possível observar esmalte. Portanto, para mitigar este problema, a solução identificada, passa por determinar o quão próximo à camada a ser desgastada se encontra do próximo tecido. Assim, ao deformar a camada no topo, se a distância entre a camada no topo e a camada imediatamente abaixo atingirem uma distância mínima, então o desgaste que irá acontecer na camada superior irá ser um desgaste bastante grande, criando uma área de desgaste com profundidade suficiente, para que o tecido naquela área não volte a ser encontrado.

Para realizar o desgaste o utilizador requer uma turbina com uma broca acoplado e um dente com as

respetivas configurações de desgaste. O simulador não suporta nenhum acionador, sendo que a broca encontra-se sempre ativa, sendo que para realizar o desgaste o utilizador apenas precisa de aproximar a broca da superfície a desgastar. O desgaste só acontece na ponta da broca, onde o feixe azul se encontra, como é possível verificar na figura 3.25. Para realizar a deformação o simulador emite um raio, *raycast*, na direção da broca, conseguindo assim determinar o nível de proximidade com as camadas detetadas, avançando apenas para o processo de deformação caso a broca esteja a uma distância mínima da primeira camada encontrada. A turbina apenas realiza um desgaste na sua extremidade porque como precisa de realizar a deformação num determinado ponto e para tal recorre-se à técnica de *raycast*, sendo que o *plugin* não suporta a deformação com base no formato de modelo.

Foi realizada uma tentativa de mitigar este problema, sendo que foram adicionados mais quatro *raycasts* à volta da turbina, de forma a ser possível realizar o desgaste também com a parte lateral da broca, a figura 3.22 apresenta os raios adicionais lançados pela broca para detetar colisões. No entanto, quando a broca detetava múltiplos contactos em simultâneo a interface de realidade virtual era bastante afetada, sendo possível sentir atrasos entre as operações realizadas e os efeitos no simulador, afetando assim consideravelmente a experiência do utilizador no mundo virtual. Com isto, a broca continuou apenas a realizar deformações na sua extremidade.

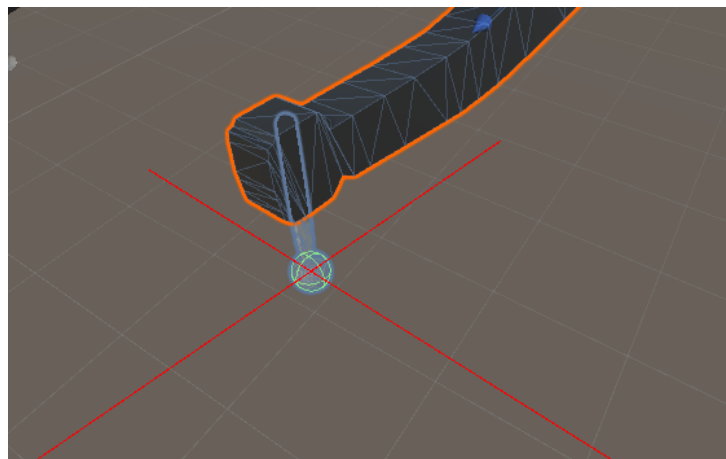


Figura 3.22: *Raycasts* adicionais à turbina

Adicionalmente, para ser possível realizar o desgaste sobre um tecido dentário é necessário existir uma configuração. Todos os tecidos que são deformáveis, o esmalte, a dentina, a polpa e a gengiva, requerem ter associados um *script* que é responsável por realizar a deformação, *Impact Deformable Remake*. A figura B.4 descreve os fatores considerados no momento da deformação. A figura B.5 demonstra um pedaço de código que reflete a concretização das configurações de deformação relativa à maior broca suportada. Como demonstrado nas figuras anteriores, a cada tecido é possível associar uma resistência, o raio da deformação, bem como a rapidez com que o desgaste deve acontecer nos diversos eixos, x, y e z. A área de deformação, depende assim destas três variáveis.

A solução atual, suporta o desgaste realizado por brocas esféricas, sendo que outros formatos de brocas requer manipular os valores configuráveis disponíveis ou poderá requerer realizar modificações ao próprio efeito da deformação, para se adaptar ao formato da respetiva broca. Portanto, para cada

broca suportada, é necessário criar uma configuração para todas as camadas deformáveis existentes. Para aproximar os efeitos de deformação da realidade, tal requer ajustes através de tentativa e erro e adicionalmente de algum *feedback* de especialistas na área de medicina dentária.

Embora este método permita realizar uma simulação da deformação nos tecidos dentários de forma realista, apresenta alguns pontos negativos. O processo de deformação ocorre apenas sobre vértices existentes no modelo, sendo possível mover os vértices de tal forma que são criadas paredes, sendo estas representadas por áreas de grandes dimensões, como se pode verificar na figura 3.23. Este fenómeno acontece porque ao realizar uma grande deformação numa determinada área os vértices irão mover-se significativamente para baixo, sendo que os vértices adjacentes irão continuar no topo da superfície, logo a dimensão das arestas irá aumentar consideravelmente, e como as arestas não são manipuláveis, formam-se paredes de tecido, que embora pareçam que podem ser deformadas estas não são deformadas diretamente. Para deformar estas paredes é necessário deformar os vértices adjacentes que se encontram no topo da superfície e assim sucessivamente até se chegar à extremidade do modelo. As seguintes figuras 3.23, 3.24, 3.25, 3.26, 3.27 e 3.28 pretendem demonstrar o problema apresentado sobre as paredes de tecido formadas durante o processo de preparação de uma cavidade.



Figura 3.23: Representação de arestas de grande dimensão, criando assim as paredes

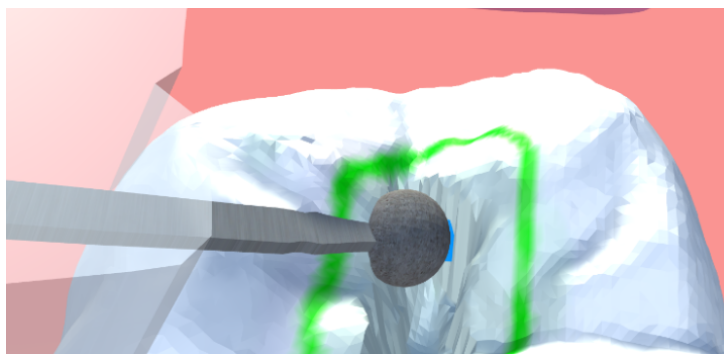


Figura 3.24: Não existe deformação no local onde o feixe azul está a incidir



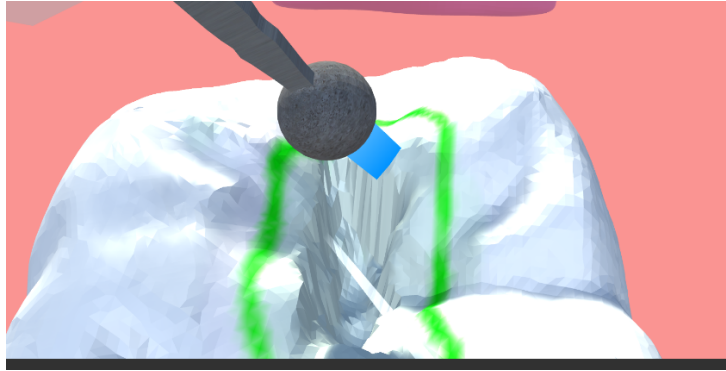


Figura 3.25: A deformação deve de ocorrer no topo da superfície



Figura 3.26: A deformação ocorreu no topo da superfície da parede

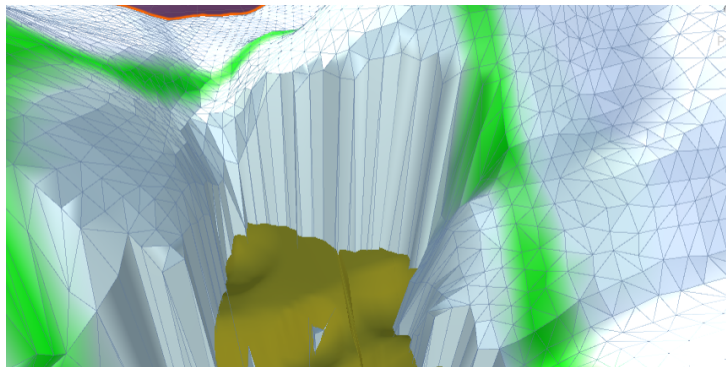


Figura 3.27: Demonstração das arestas e vértices no modelo

A outra situação relevante que também ocorre durante o processo de deformação e resulta da técnica usada, está ligado à criação de picos de esmalte. Quando ao realizar a deformação sobre uma área de um tecido dentário e na área de deformação o tecido se encontra demasiado próximo do tecido de baixo, como já indicado, é realizada uma deformação com profundidade suficiente para o tecido superior não voltar a aparecer ao desgastar os respetivos tecidos internos. No entanto, o que se verifica é que por vezes ao realizar o desgaste, são criados pequenos picos de esmalte. Este foi recorrente na camada de esmalte. Também se verificou é que quanto menor fora o raio de deformação no momento

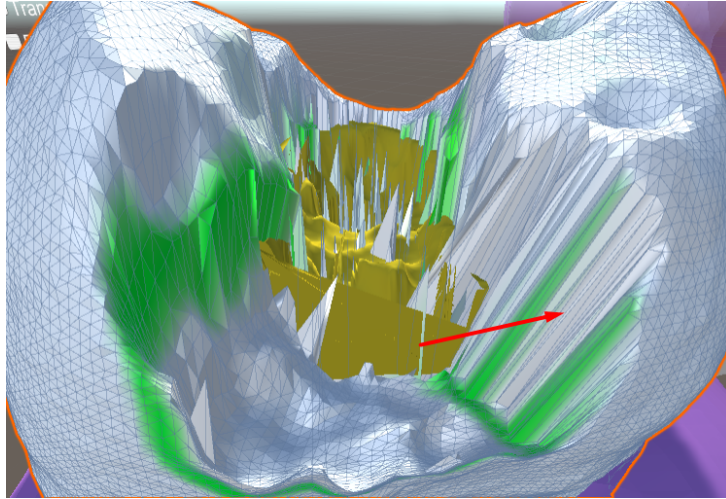


Figura 3.28: Exemplo de paredes numa cavidade de classe 2

de realizar estas deformações com elevada profundidade torna-se mais provável de surgirem estes picos. Isto deve-se ao fato de o método para detetar o ponto a deformar, baseia-se na obtenção de um único ponto no modelo, obtido através da técnica *raycast*, o permite deixar no modelo pequenas superfícies de esmalte, que são bastante difíceis de remover, porque por norma, os picos têm um número bastante pequeno de vértices, sendo comum detetar 1 ou 2 vértices, e é bastante difícil acertar com a linha *raycast* nos vértices que se pretende deformar.

Numa primeira fase estes picos eram abundantes depois da preparação de uma cavidade, no entanto, após aumentar um pouco o raio de deformação ajudou a reduzir significativamente o número de picos de esmalte criados no modelo. No entanto, este problema persiste e agravasse caso se pretenda usar brocas bastante pequenas bastante próximas da camada inferior. É, no entanto, difícil preparar uma cavidade sem praticamente nenhum de esmalte, tal requer um esforço adicional, pelo que a deformação deve ocorrer a um passo mais lento. No entanto, o simulador não deveria requerer uma atenção especial para realizar o exercício corretamente devido a detalhes técnicos.

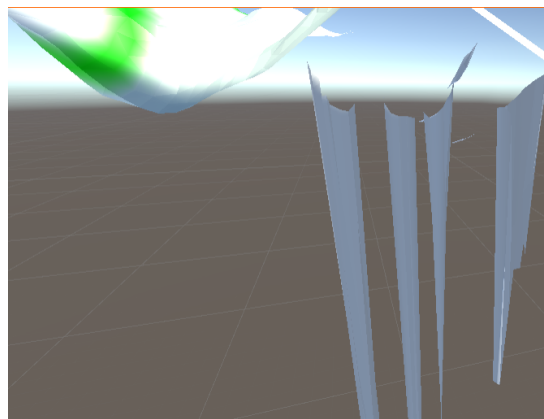


Figura 3.29: Representação de grandes deformações internamente num modelo de dente - Os vértices são empurrados para perto da extremidade oposta do modelo

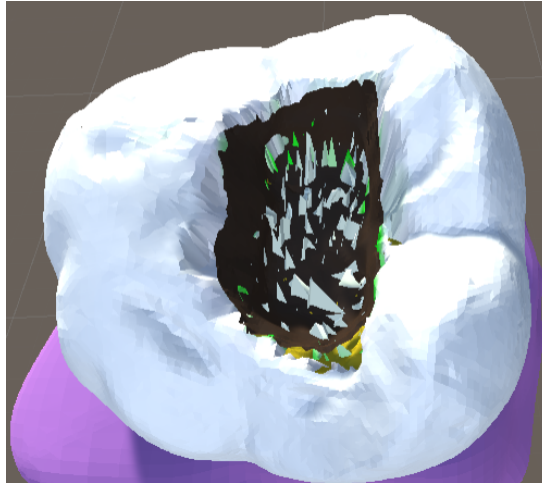


Figura 3.30: Cavidade classe 1 com excesso de picos de esmalte

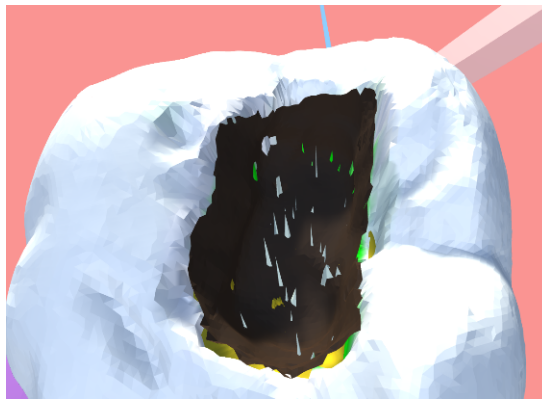


Figura 3.31: Cavidade classe 1 com um número bastante reduzido de picos de esmalte

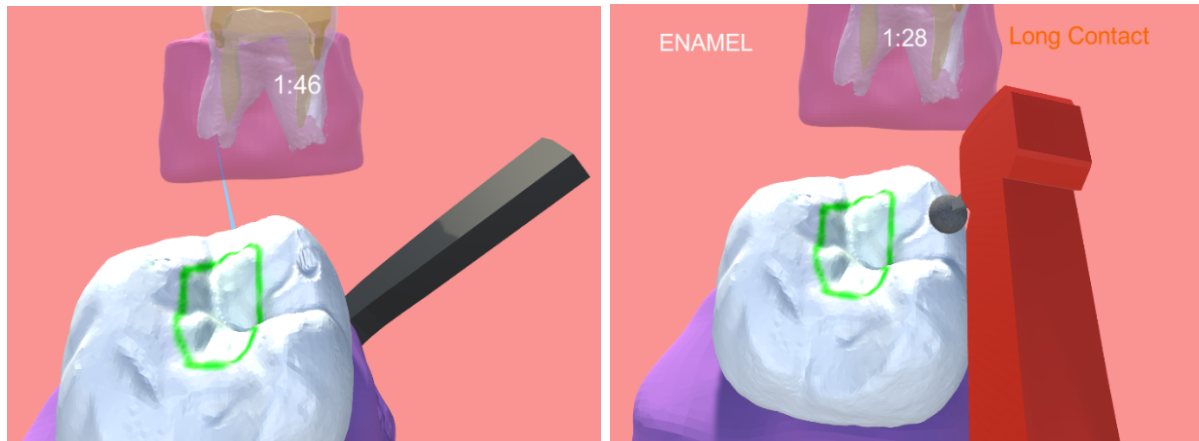
### 3.5 Feedback

A área de *feedback* é composta por três tipos de *feedback*, visual, auditivo e háptico. O *feedback* visual é transmitido para o utilizador através dos óculos de realidade virtual, que são responsáveis por renderizar todos os componentes visuais, os óculos fornecem também o *feedback* auditivo, sendo que a responsabilidade do *feedback* háptico é responsabilidade do dispositivo háptico que visa replicar a turbina no simulador.

Para compor o *feedback* visual, o simulador apresenta o desgaste realizado num tecido dentário recorrendo a uma broca, o desgaste apresentado deve corresponder à broca usada, para aproximar a experiência da realidade. Na simulação o utilizador consegue imediatamente visualizar um painel flutuante, figura 3.32, que o acompanha, consoante os movimentos executadas pela cabeça. Este painel, é responsável por apresentar ao utilizador o tempo decorrido da simulação, em que tecido é realizado o desgaste e por último, quando existem situações que requerem atenção do utilizador, é apresentado um aviso a descrever a situação em causa. Para complementar e realmente despertar a atenção do utilizador, os avisos modificam a cor da turbina para um vermelho sólido, transmitindo assim a sensação de que algo aconteceu e não era expectável numa situação normal.

Como o texto apresentado no painel flutuante, sobre a situação de aviso, é subtil e pode escapar ao

utilizador, o simulador recorre também a uma interface aural, em que existe o apoio de uma assistente, a indicar a situação que aconteceu. Outro efeito visual presente na fase de simulação, e que recorre ao sistema de partículas do Unity, consiste numa simples animação que procura simular um esguicho de sangue, quando existe contacto com a gengiva, figura 3.33.



(a) Painel flutuante apenas com o temporizador da simulação. (b) Painel flutuante completo - à esquerda o tecido em que está a ser realizada a deformação - ao centro o tempo decorrido da simulação - à direita informação sobre a situação de aviso - turbina de cor vermelho sólido de modo a indicar que foi acionado um aviso

Figura 3.32: Diferentes estados do painel flutuante

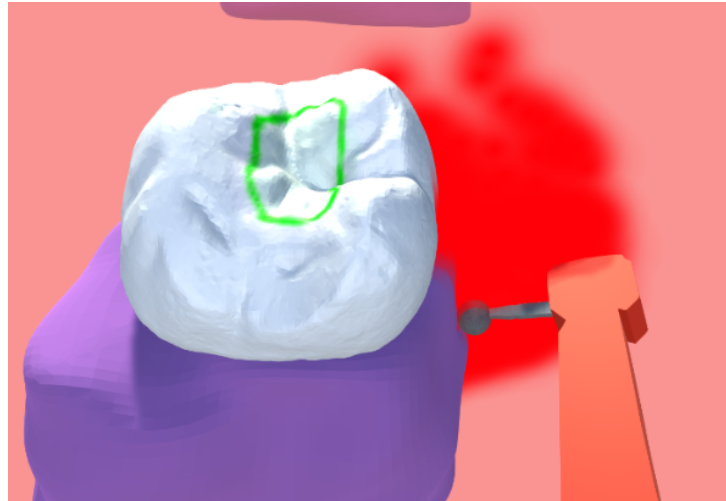


Figura 3.33: Animação esguicho de sangue quando a broca entra em contacto com a gengiva.

O *feedback* auditivo é responsável por numa fase inicial da simulação, descrever ao utilizador qual o objetivo do exercício, servindo assim como complemento à descrição do exercício em formato de texto. Como já foi identificado, sempre que existe uma situação irregular, suportada pelo simulador, a interface aural é responsável por avisar o utilizador. Embora o *feedback* apresentado nestas situações seja breve, descrevendo o que aconteceu, sem explicar o porquê ou como evitar, esta estratégia apresenta uma tentativa inicial, de aproximar o *feedback* retornado pelo simulador como se de uma pessoa tratasse, embora o protótipo atual esteja longe de completar esta ideia.

Após um contacto prolongado com o ambiente de clínica, é possível identificar que o som emitido pelas turbinas está bastante presente no dia a dia destes profissionais. Assim, o simulador incorpora o som da turbina, pelo que a turbina está sempre a emitir som, como se o pé estivesse sempre no pedal e durante a fase de deformação o utilizador obtém uma nova dica auditiva, sendo que o som emitido pela turbina altera-se, semelhante ao que acontece ao realizar a instrumentação com uma turbina real. O som da turbina tanto na fase livre, como na fase de desgaste é sempre o mesmo, no entanto, para conseguirmos um som diferente e próximo do real durante a fase de desgaste, é aplicado um filtro de passa-baixa, sempre que a deformação ocorre. O filtro de passa-baixa permite a passagem de frequências baixas sendo que as frequências altas são atenuadas.

Para completar o *feedback* fornecido pelo simulador, este fornece *feedback* háptico através do dispositivo háptico usado, a caneta háptica *Touch da 3D Systems*. O *feedback* háptico é transmitido para a mão do utilizador, exatamente como se este estivesse a manipular uma turbina real. A caneta háptica permite oferecer resistência e vibração, sendo que são dois aspetos bastante presentes na fase de preparação de cavidades, dado que a turbina sendo um instrumento rotatório de alta velocidade oferece algum nível de vibração e os tecidos dentários a deformar oferecem a resistência. Usando um dispositivo háptico, todo o *feedback* é virtual e todo o esforço da simulação destes aspetos é da inteira responsabilidade deste dispositivo.

O simulador descrito ao longo deste documento, como já identificado previamente em diversos momentos, é num simulador de ambiente médico, na área da medicina dentária e o utilizador final é composto por profissionais e alunos de medicina dentária. Adicionalmente, o simulador foca-se especificamente na fase de preparação de cavidades. Para preparar uma cavidade um profissional recorre sempre à turbina. Assim, o simulador precisa de um dispositivo que seja suficientemente capaz de simular a turbina. O dispositivo escolhido responsável por simular a turbina foi o dispositivo háptico *Touch X*.

O dispositivo háptico, é um aparelho usado em diversos cenários onde também estão incluídas as simulações médicas, porque permite simular diversos aparelhos, que de outra forma seria impossível ou dificilmente seriam simulados por outros aparelhos, tais como o rato de computador. Segundo a investigação realizada, o dispositivo háptico é o aparelho que mais próximo está de permitir simular a turbina. O dispositivo háptico *Touch*, permite ao utilizador movimentar livremente o aparelho nos diversos eixos x, y e z, apesar de existir um limite máximo de amplitude de movimentos este limite é suficiente para replicar o uso de uma turbina. Permite também obter uma força de *feedback* considerável, até 3.3 N.

Uma vantagem deste aparelho é a possibilidade de permitir substituir a peça em que o utilizador realiza a pega. Na figura 3.34(b), podemos ver o dispositivo háptico com a peça original, que se assemelha bastante a uma caneta, no entanto, esta peça é pesada, larga, a pega é bastante diferente da que os profissionais de medicina dentária estão habituadas quando seguram as suas turbinas. De forma a tentar tornar a experiência fornecida pelo simulador mais imersiva e próxima da realidade, disponibilizámos a possibilidade de substituir a peça removível da caneta, por um modelo impresso que é a réplica de uma turbina.



(a) No topo está a turbina real - no centro está o modelo impresso que é uma réplica da turbina no topo da figura - no fim está o modelo original da caneta háptica



(b) Caneta háptica com o modelo original



(c) Caneta háptica sem modelo de pega acoplado



(d) Caneta háptica com o modelo de réplica de turbina

Figura 3.34: Caneta háptica e os diferentes modelos disponíveis

Ao remover a peça que permite o utilizador agarrar o dispositivo háptico, é possível verificar, figura 3.34(c), que o ponto de contacto é um *stereo jack* e permite identificar qual dos dois botões foi clicado, sendo que a peça original de pega, contém dois botões. Em contrapartida, o modelo da turbina, não apresenta capacidade para pressionar os botões.

Como já identificado, recorreu-se ao módulo *3D Systems Openhaptics® Unity Plugin* [23] desenvolvido e mantido pela equipa da 3D Systems, para realizar interface entre a plataforma do Unity e o dispositivo háptico. Uma das capacidades da caneta háptica da 3D Systems, é a capacidade de reconhecer as superfícies de qualquer tipo de modelo. A ideia inicial seria recorrer a esta capacidade oferecida pelo dispositivo háptico, de forma a permitir que a caneta conseguisse percorrer as diferen-

tes superfícies, dos diversos tecidos, sem conseguir atravessar o modelo. No entanto, o *plugin* oficial conseguiu de fato reconhecer as superfícies hápticas, mas não foi conseguido que o *plugin* háptico reconhecesse as deformações realizadas no modelo em qualquer das camadas com uma superfície háptica.

A caneta sempre que é inicializada constrói um modelo adicional com a mesma forma do modelo que representa assim a superfície háptica, no entanto, este modelo fica fixo no ambiente de simulação, caso a posição do modelo seja alterada o modelo da superfície criado pela caneta, mantém-se firme, sem atualizar a posição ou a sua forma. Esta funcionalidade oferecida pela caneta permite definir a rigidez das diferentes superfícies, sendo assim possível sentir resistência ao navegar a caneta sobre as superfícies. De forma complementar esta solução ao existir uma superfície háptica, a caneta consegue fornecer um *feedback* de resistência ao tentar trespassar a superfície, sempre com base na rigidez definida para a superfície, ou seja, o modelo da caneta visualmente mantém-se na superfície, mas internamente o modelo da caneta consegue trespassar o modelo, no entanto, a profundidade a que se consegue ir depende da rigidez do material e da força realizada.

Assim, a solução seguida, passou por manipular a força realizada pelos motores da caneta háptica nos momentos de deformação, tendo sempre em conta o tecido em que ocorre a deformação. Assim, todos os tecidos que compõem o dente, não são compostos por superfícies hápticas e como o modelo do dente é composto por diversos modelos não convexos, segundo a definição um polígono é convexo se todos os ângulos interiores são inferiores a 180°. A plataforma Unity, em versões mais recentes, não permite adicionar um corpo rígido a modelos não convexos, de forma a detetar colisões, não sendo assim possível detetar colisões entre a broca e os diversos tecidos do modelo com base no motor de física do Unity.

Como previamente identificado, o processo de desgaste acontece quando o *raycast* deteta que a broca se encontra próximo da superfície e quando o processo de desgaste é iniciado, é modificada a resistência oferecida pela caneta e quando o desgaste termina é novamente modificada a resistência fornecida pela caneta, de forma a oferecer menos resistência quando não existe desgaste, para ser possível mover a caneta livremente quando não existe deformação. As resistências oferecidas pela caneta vão diminuindo, quanto mais interna for a camada. Sendo que a camada do esmalte é a camada que oferece maior resistência e das camadas internas a polpa é a que oferece menor resistência, oferecendo praticamente nenhuma. Embora com esta solução permita sentir a resistência oferecida pelos diversos materiais, se o processo de desgaste for realizado de uma forma muito intermitente, vai interferir com a percepção da resistência oferecida, porque estará sempre a ativar e a desativar a resistência.

Para complementar todo este *feedback*, desde o início até ao término da simulação, a caneta háptica tem sempre o módulo de vibração ativado. Replicando assim o comportamento da turbina, com a exceção de que o simulador não implementa nenhum acionador para a turbina, sendo que a turbina encontra-se sempre acionada e pronta a desgastar.

### 3.6 Exploração da Técnica de Voxels para Deformação de Dentes

Como identificado nas secções anteriores os modelos disponibilizados e o processo de deformação apresentam algumas limitações. De forma a tentar mitigar estes problemas, dado que se provaram difíceis de resolver na solução apresentada, devido aos detalhes de implementação, existiu uma breve exploração de uma técnica diferente de geração de modelos. Esta técnica recorre ao uso de *voxels*, blocos, para gerar os modelos, figura 3.35. Entenda-se *voxels* como blocos num espaço tridimensional. Realizando uma comparação com o ambiente 2D, enquanto em 2D existe o píxel em 3D existe o *voxel*, o bloco.

Usando esta técnica os modelos são construídos programaticamente, conseguindo assim criar um modelo que tenha blocos em todo o seu interior, não existindo assim espaços vazios. Quanto mais blocos usados, mais detalhe o modelo apresenta. Recorreu-se ao *plugin Voxel Generator*[29] para suportar o motor responsável pela geração de modelos e pela deformação dos respetivos blocos.

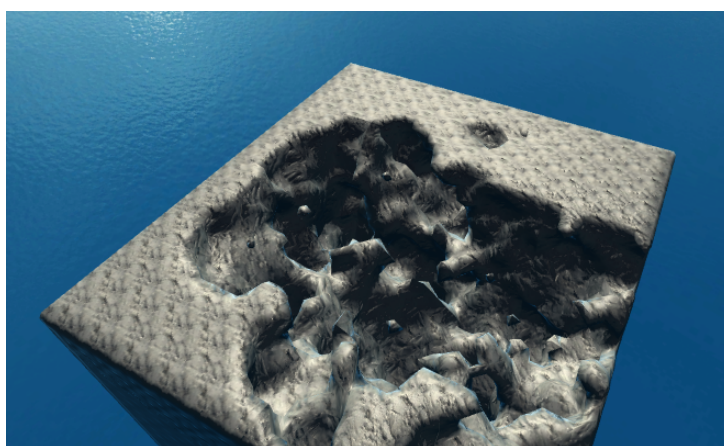


Figura 3.35: Cubo composto por blocos

Assim, gerou-se um modelo dente baseado em blocos partindo dos dentes obtidos através dos *scans*. No entanto, a ferramenta apenas permite gerar um modelo convexo, sendo que para aproximar o modelo gerado de um dente, foi necessário modificar manualmente o modelo, com base na remoção e adição de blocos no modelo. Como este é um modelo gerado existe mais capacidades ao nível de manipulação do modelo, sendo que os limites usados nos modelos anteriores foram esquecidos e adicionou-se diretamente sobre o modelo em duas áreas distintas um conjunto de novos blocos, que representam o tecido careado, como se pode observar na figura 3.36.

Desta forma, o processo de simulação torna-se mais realista, sendo que a preparação de cavidades com base em limites bem definidos acontece apenas em ambiente pré-clínico, em contrapartida, no ambiente de clínica existe a remoção apenas do tecido careado. Recorrendo a esta técnica, como o modelo de dente é composto por diversos pequenos blocos convexos, o processo de deformação torna-se mais simples, sendo que é possível usar os métodos nativos no Unity para detetar colisões, dado que os modelos usados são sempre convexos. Assim, sempre que há contacto com a broca nos blocos é possível remover apenas os blocos em que existiu contacto com a broca, e quanto menores e maior o número de blocos que compõem o modelo mais suave será o desgaste. As figuras 3.37(a) e



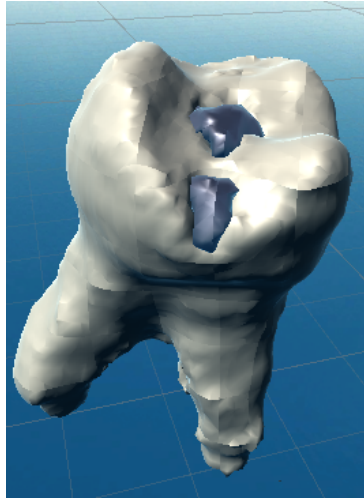
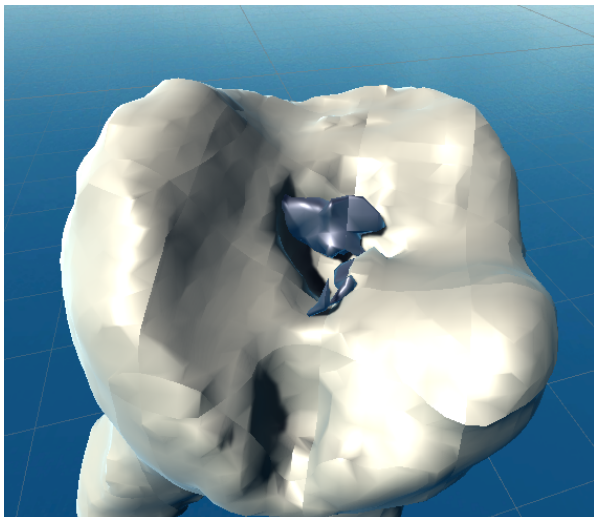
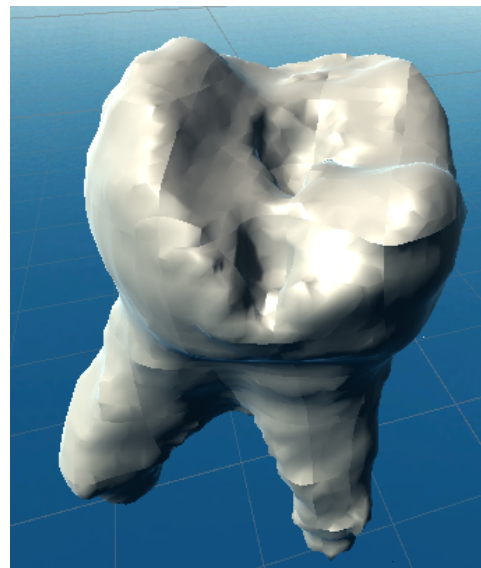


Figura 3.36: Dente composto por blocos com tecido careado em duas faces

3.37(b) apresentam a evolução da remoção do tecido careado, resultando no fim um dente apenas sem o tecido careado, não existindo preparação de cavidade com baseada em limites.



(a) Dente a meio da remoção do tecido careado



(b) Dente sem tecido careado

Figura 3.37: Deformação tecido careado.

Embora esta técnica apresente uma boa forma de resolver o problema de preparação de cavidades, esta solução não foi completada a tempo de ser avaliada pelos profissionais.



## Capítulo 4

# Resultados da Avaliação da Solução

Na secção anterior foi apresentado com detalhe o sistema Dentify e assim esta secção irá apresentar a metodologia seguida durante a fase de avaliação, tais como as técnicas usadas, quem compôs o grupo de participantes e os resultados provenientes da avaliação da solução.

A solução desenvolvida foca-se numa fase técnica na medicina dentária, a fase de instrumentação e sendo esta a tarefa principal, a validação do simulador necessita de ser realizada por especialistas na área de medicina dentária.

Docentes e doutores, a exercer em clínica, compõem o grupo de especialistas considerado para a fase de avaliação. Para o estudo, foram considerados aptos todos os participantes que se encontravam aptos para exercer a atividade profissionalmente. O estudo descreve duas fases de avaliação distintas, sendo que em cada uma das sessões de avaliação foram realizados testes sobre diferentes versões do simulador. A última fase de avaliação foi realizada recorrendo à versão final da solução. Na primeira fase de avaliação, houve, no entanto, uma exceção no grupo de participantes. Dois alunos de 5.º ano fizeram parte da fase de testes, para conseguirmos obter mais *feedback* sobre a versão de primeira fase.

O *feedback* retornado pelos alunos foi contabilizado porque estes encontram-se a poucos meses de estarem aptos a exercer profissionalmente. A fase de avaliação contou principalmente, com a participação de médicos dentistas, devido ao tempo reduzido para realizar posteriormente um novo estudo com um grupo composto apenas por alunos de medicina dentária. Sendo que apenas faz sentido realizar testes com a participação de alunos quando as capacidades técnicas da solução se encontram validadas por especialistas na área.

Com o estudo realizado, pretendeu-se extrair conclusões, com base no *feedback* dos especialistas na área de medicina dentária, sobre o contributo da solução e possibilidade de adoção destes simuladores, recorrendo a tecnologias de realidade virtual e *feedback* háptico, como complemento às técnicas tradicionais de treino em ambiente pré-clínico.

## 4.1 Técnicas Usadas

Ambas as fases de avaliação seguiram um conjunto de passos bem definidos, sendo descritos num guião, apresentado no apêndice C. Cada sessão de avaliação demorou em média 1 hora e a execução do exercício de avaliação do simulador em média demorou entre 10 a 15 minutos.

Durante a sessão de avaliação do simulador cada participante desempenhou um exercício de instrumentação. O exercício de instrumentação poderia ser composto pela preparação de uma cavidade do tipo classe 1 ou classe 2, com ou sem dente adjacente. Parte dos exercícios foram realizados em modo de treino, com ajudas, e os restantes em modo de avaliação, sem auxílio auditivo e visual adicional.

Como já mencionado na secção 3, descrição da solução, foi disponibilizado um modelo 3D em formato de turbina com capacidades de conexão ao módulo do dispositivo háptico, modificando assim a pega original da caneta háptica. Este modelo apresenta uma limitação, sendo que o local em que deveria permitir o acoplamento deveria ser no mesmo local onde a broca se encontra na turbina. No entanto, como o modelo apresenta uma pega idêntica à de uma turbina real, foi usado este modelo no momento de avaliação para obter o *feedback* sobre o modelo. A modificação da caneta háptica pretende ajudar a aproximar ainda mais a experiência com o simulador ao permitir que a pega no dispositivo háptico seja idêntica à oferecida pela turbina dos participantes.

As sessões de avaliação dividiam-se em três partes, a de apresentação do projeto, de execução da tarefa e o processo de recolha de *feedback*.

Previamente à fase de apresentação do projeto, o participante preenchia um questionário de consentimento e de perfil demográfico. De seguida, seguia-se para a descrição do projeto, quais os seus objetivos, que tipo de exercício iria ser executado, seguido de uma explicação dos aparelhos que compõem o sistema e como usá-los. Na etapa seguinte, o participante tinha oportunidade de se ambientar com o simulador, antes de executar o exercício pretendido. Após a execução do exercício pretendido, o participante respondia a diversos questionários, tais como questionários relativamente à experiência de realidade virtual, de usabilidade, de carga de trabalho, da experiência com o simulador, sendo que por fim o processo de recolha de *feedback* terminava com uma entrevista ao participante relativamente à sua experiência com o simulador.

O questionário demográfico para além de permitir identificar a experiência e qualificações de cada participante, permitiu identificar a experiência dos participantes com tecnologias de realidade virtual e canetas de *feedback* háptico e, adicionalmente, perceber qual o contexto em que estas tecnologias foram usadas e se já tiveram expostos a estas tecnologias durante as aulas práticas de dentisteria.

O questionário de *cyber-sickness* é relativamente à experiência de realidade virtual e permitiu identificar quais os efeitos secundários sentidos pelos utilizadores durante ou após o uso do sistema, bem como as suas ocorrências. Como efeitos secundários, foram considerados alguns dos seguintes pontos, vista cansada, tonturas, náuseas, vertigens.

Para avaliar a usabilidade, recorreu-se à ferramenta *SUS*, em português escala de usabilidade do sistema. *SUS* consiste num questionário simples composto por dez perguntas, recorrendo à escala

de Likert, que visa quantificar a percepção de um participante sobre o nível de usabilidade do sistema. A escala de Likert é composta por cinco pontos, os participantes respondem a um questionário onde especificam o nível de concordância com uma afirmação.

Este questionário pretende avaliar a um nível global diferentes aspetos de usabilidade, tais como efetividade, eficiência e satisfação. A nível de efetividade, pretende-se perceber se os participantes conseguiram atingir os objetivos pretendidos. A nível de eficiência, pretende-se perceber o nível de esforço e que recursos são necessários para conseguir atingir os objetivos pretendidos. Por fim, a nível de satisfação visa permitir identificar se a experiência dos participantes ao realizar os exercícios no simulador foi satisfatória.

A avaliação realizada pelo questionário de usabilidade, *SUS*, recorre a uma fórmula para calcular a pontuação de usabilidade. No entanto, este é um valor bruto e terá de ser convertido, para outra escala de forma a conseguir determinar se o sistema em teste, o protótipo, está bem classificado em termos de usabilidade. A figura 4.1 descreve as diferentes escalas para um mapeamento entre as pontuações de usabilidade.

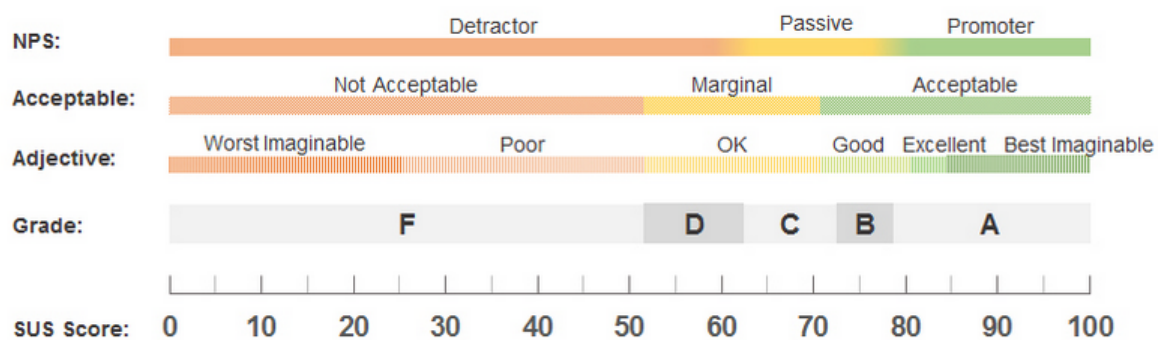


Figura 4.1: Mapeamento de pontuação de usabilidade para diversas escalas interpretáveis

O questionário NASA-TLX, em português, questionário de índice de carga de tarefas, visa determinar a carga de trabalho sentida por cada participante ao realizar o exercício de instrumentação no simulador. O questionário contém seis perguntas que se focam nos seguintes pontos, esforço mental, esforço físico, esforço temporal, desempenho, esforço e nível de frustração. Este questionário divide-se em duas fases, na primeira fase o participante avalia os diferentes pontos previamente identificados e na segunda fase o participante escolhe por quinze vezes, o fator mais importante para a experiência, comparando sempre dois fatores de cada vez. Esta última fase tem como objetivo atribuir pesos aos diferentes fatores consoante a percepção do utilizador durante a experiência, tentando assim atribuir um peso maior aos fatores mais relevantes para o utilizador.

Posteriormente, o questionário sobre a experiência com o simulador é composto por um conjunto de questões fechadas, com objetivo de obter um *feedback* inicial sobre a interação com o simulador e funcionalidades apresentadas. Este questionário é posteriormente complementado por uma entrevista com o participante, permitindo assim o participante aprofundar o seu *feedback* sobre o simulador. O objetivo é determinar se o simulador permite realizar o processo de instrumentação com fiabilidade,

quais as dificuldades encontradas durante a sessão de treino, qual o *feedback* sobre a integração com a caneta háptica e a realidade virtual, qual a opinião sobre o *feedback* apresentado pelo simulador e perceber se este tipo de simuladores usando as técnicas de realidade virtual e *feedback* háptico seriam um bom complemento ao formato tradicional de treino dos alunos de medicina dentária.

## 4.2 Higiene e Segurança

Para usar a solução Dentify, o utilizador precisa de realizar diversos contactos físicos com o simulador, concretamente são 3 os pontos de contacto. Juntado a esta afirmação o facto de os testes de avaliação precisarem de ser realizados durante uma pandemia, a pandemia do COVID-19, foi necessário assegurar algumas condições de segurança para se conseguirem realizar os testes.

Todas as sessões de testes aconteceram num ambiente clínico nas instalações da I.U.E.M., pelo que todos os participantes estavam equipados com o seu EPI, equipamento de proteção individual. O EPI, consistia numa farda branca de corpo completo, uma máscara KN-95, luvas e uma toca. Sendo tudo material descartável.

Portanto, para mitigar a forma de contágio através do manuseamento do comando e da caneta háptica, todos os participantes usaram luvas descartáveis. O último ponto de contacto físico é através dos *HeadSet Oculus* e para mitigar qualquer contágio com a sua utilização, todos os participantes usaram tocas. Após cada sessão de avaliação, tanto as luvas, como a toca foram descartadas.

## 4.3 Resultados da Primeira Sessão de Avaliação

A primeira fase de avaliação teve como objetivo recolher um primeiro *feedback* sobre as experiências com o simulador, de modo a conseguir identificar pontos negativos e de melhoria no sistema. Assim, a versão final já se encontra apoiada por algum *feedback* fornecido por profissionais.

A primeira fase de avaliação foi composta por 8 participantes. Seis dos participantes são especialistas na área de medicina dentária e apenas 2 eram alunos de 5.º ano do mestrado integrado de medicina dentária.

Todos os especialistas possuem o mestrado em medicina dentária, sendo que um possui o doutoramento na área. Apenas dois dos especialistas indicaram que são docentes. Todos os especialistas encontram-se, no momento da realização dos testes, a exercer as áreas de endodontia ou dentisteria em ambiente clínico. A experiência média dos especialistas que participaram no estudo, traduzida em anos num ambiente de clínica, é de 6 anos e meia. Sendo que o tempo mínimo registado a exercer foi de 1 mês e o máximo registado foi de 25 anos. Os dois alunos de 5.º ano, reportaram que em média despendem de 4 horas semanais em ambiente clínico e 20 horas semanais em treino pré-clínico recorrendo a frascos. Metade dos participantes são do género masculino e a outra metade do feminino.

A maioria dos especialistas reportou que já experimentou sistemas de realidade virtual, no contexto da área de medicina dentária embora muito raramente, tendo sido uma experiência de uma única vez. Dos especialistas presentes no estudo, apenas um reportou que já teve um contacto, embora

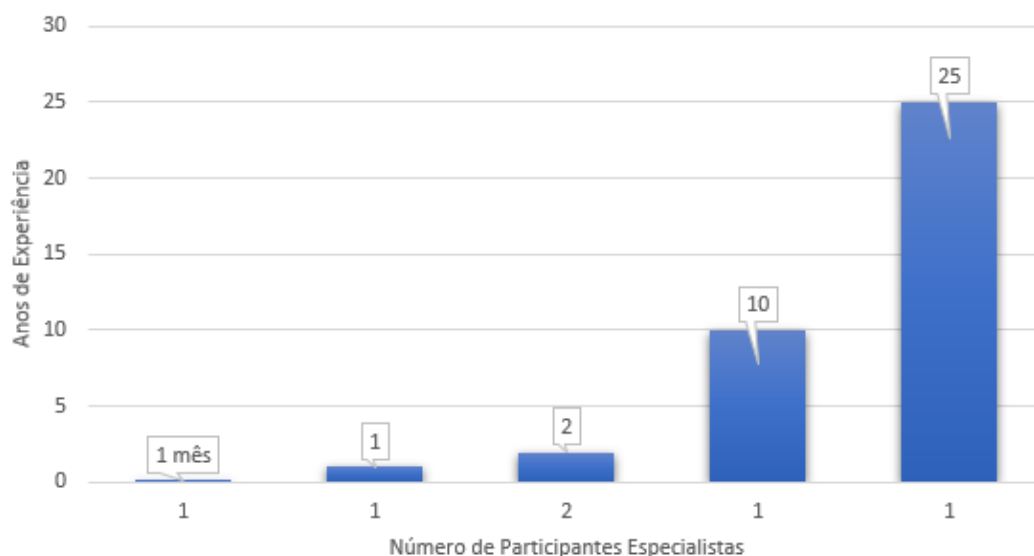


Figura 4.2: 1ª Sessão de Avaliação - Anos de experiência dos especialistas

no singular, com uma caneta háptica. Dos restantes especialistas, existiu quem desconhecesse o aparelho. Os alunos reportaram que nunca tiveram qualquer contacto com experiências de realidade virtual ou com canetas hápticas.

Todos os especialistas e alunos, reportaram que apenas apresentaram ou tiveram contacto com sessões de treino em formato de texto, imagens 2D e com recurso a frascos. Ninguém reportou o uso de outras tecnologias na fase de treino.

Durante esta sessão de avaliação, foi realizado o seguinte plano de exercícios, para 8 participantes. Relembrando que o modo treino e avaliação diferem nas ajudas disponíveis durante o exercício, tais como ajudas visuais e *feedback* através da interface aural.

#### Plano de Exercícios e respetivo Número de Participantes

- 3 participantes - Preparação Cavidade Classe 1 - Modo Treino
- 1 participantes - Preparação Cavidade Classe 1 com dente Adjacente - Modo Treino
- 2 participantes - Preparação Cavidade Classe 2 com dente adjacente - Modo Treino
- 2 participantes - Preparação Cavidade Classe 1 - Modo Avaliação

#### 4.3.1 Experiência de Realidade Virtual

Sobre o *feedback* da experiência virtual mediada através dos óculos quest. Os participantes reportaram os seguintes efeitos secundários, dor de cabeça, vista cansada, dificuldade em manter o foco, visão turba/embaciada, tonturas e aumento dos níveis de saliva, como é descrito na figura 4.3.

Os participantes que reportaram dificuldade em manter o foco, dor de cabeça, visão turva, tonturas e vista cansada é um grupo composto maioritariamente por pessoas que usam óculos diariamente. Portanto, o uso de óculos poderá estar na origem destes efeitos. No início de todos os exercício de simulação, foi fornecida uma explicação e assistido o participante no processo de colocação e ajuste dos óculos, para estes ficarem corretamente ajustados a si e a conseguir observar bem o mundo virtual, sem desfoco ou lentes embaciadas. Um fator que está na origem da visão turva e dificuldade em manter o foco é o uso de máscara, sendo que por vezes o vapor proveniente da respiração escapava pela parte superior da máscara, onde como consequência embaciava as lentes, restringido assim o campo de visão e afetado a experiência.

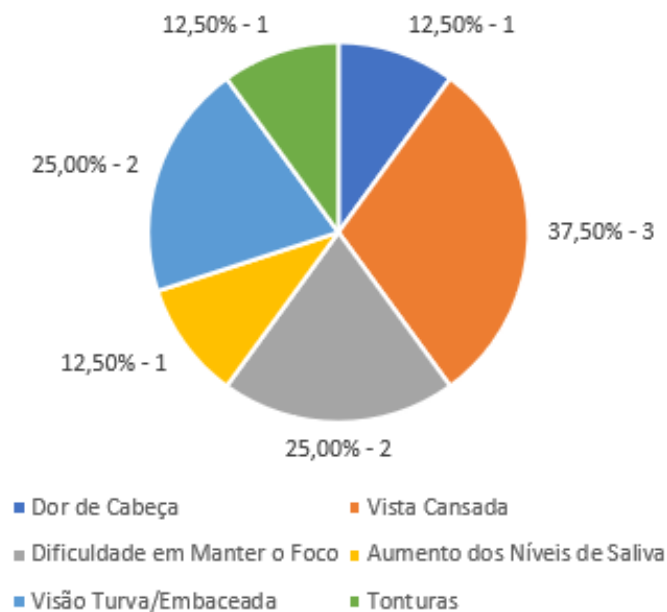


Figura 4.3: 1ª Sessão de Avaliação - Efeitos secundários sentidos pelos participantes usando os óculos de realidade virtual

Existiu um participante que reportou um aumento ligeiro dos níveis de saliva. O efeito poderá ser atribuído a um potencial nervosismo da situação ou poderá ter sido a adaptação aos óculos e a reação do corpo devido à nova perceção da realidade.

Ninguém reportou o efeito de vertigens, náuseas ou desconfortos moderados, isto deve-se a uma boa adaptação dos participantes à interface da realidade virtual. Como identificado no capítulo 3 a simulação é constrangida à posição sentada e o utilizador apenas pode realizar os movimentos habituais com a cabeça. O utilizador não pode andar dentro na simulação, a simulação também não assume em qualquer altura o controlo da posição e orientação da interface de realidade virtual, ou seja, o simulador não interfere com campo de visão do utilizador, o utilizador tem o controlo exclusivo sobre a interface visual, ajudado assim a mitigar efeitos secundários como as vertigens, tonturas e náuseas.

Assim, segundo a avaliação dos participantes, a experiência de realidade virtual é pacífica, não apresenta problemas preocupantes. No entanto, durante a utilização do simulador é possível sentir alguns efeitos secundários ligeiros. O efeito secundário mais frequente foi a vista cansada.



### 4.3.2 Usabilidade

A pontuação varia de 1-100 e 68 pontos é considerada a pontuação média dos sistemas, segundo uma vasta avaliação sobre diversos sistemas [30].

Assim, a solução apresentada precisará de em média obter mais de 68 pontos para se demonstrar estar acima da média de usabilidade, sendo assim capaz de mostrar resultados promissores sobre a sua usabilidade. A figura 4.4 apresenta os resultados dos questionários de usabilidade *SUS*. O resultado mais elevado apresenta 82,5 pontos e o mais baixo apresenta um valor de 40 pontos. Em média, com base no *feedback* dos participantes, o sistema apresenta uma pontuação de 73,75 pontos, sendo este um valor ligeiramente acima da média. Para determinar a dispersão dos resultados recorreu-se ao cálculo do desvio padrão da população. Desta forma conseguimos perceber o quão distantes os resultados de usabilidade estão. O desvio padrão dos resultados apresentados é de 12,1 pontos, sendo que o máximo de dispersão é de 50 pontos. Com os dados apresentados, não existe uma enorme dispersão, mas é possível verificar que existe alguma variância nos resultados apresentados. As pontuações de usabilidade encontram-se praticamente todas próximas de 70 pontos, no entanto, existe uma pontuação de 40 pontos, encontrando-se bastante distante dos restantes resultados.

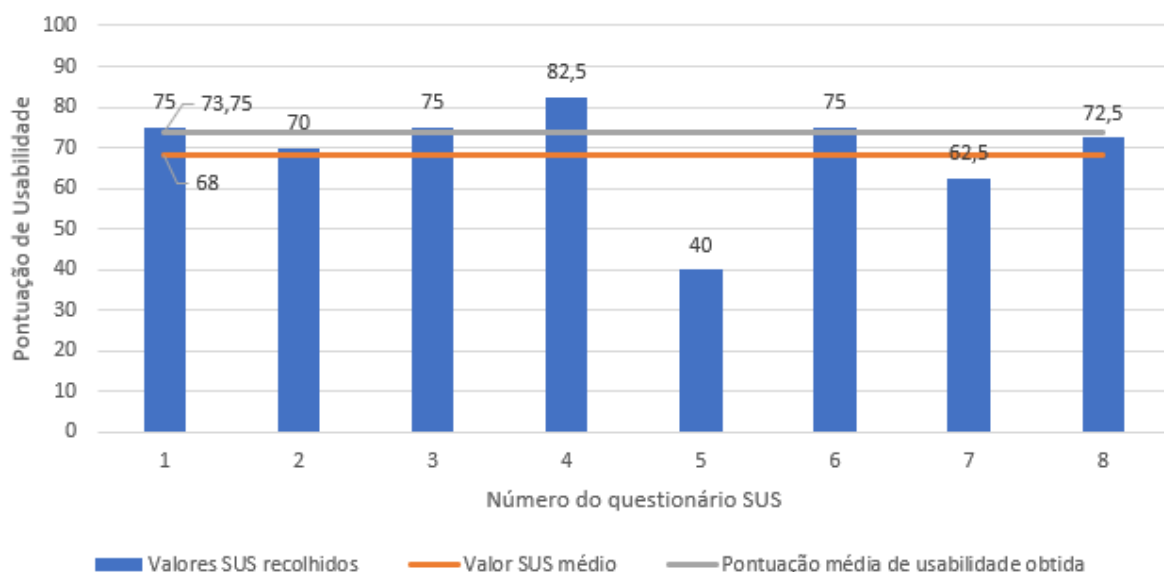


Figura 4.4: 1ª Sessão de Avaliação - Resultados do questionário de usabilidade - SUS

A pontuação de 40 pontos de usabilidade apesar de ser o único resultado bastante distante da média é um resultado válido, porque o exercício executado seguiu o processo do guião e o exercício foi realizado até ao fim. No entanto, a caneta háptica por diversas vezes vibrou mais que o esperado devido ao utilizador ser capaz de afastar a caneta dos limites ideais estabelecidos pelo *plugin* da caneta, o dente apresentado também não se encontrava proporcional à turbina sendo este consideravelmente maior e juntando as limitações de deformação o exercício demorou também bastante tempo, afetando assim a experiência do utilizador, juntando também o fato de possuir uma visão mais conservadora em

relação a estas soluções e às suas capacidades de simulação da realidade.

### 4.3.3 Carga de Trabalho

Recorrendo à figura 4.5 é possível observar os resultados subjetivos dos participantes sobre o nível de carga do exercício apresentado. A média da carga do trabalho está bastante perto de 40%, o que indica que existe alguma carga na realização da tarefa. Destacam-se os valores com um índice de carga perto dos 60%. Estes são resultados provenientes de execuções cujos participantes se sentiram mais frustrados com o nível elevado número de picos de esmalte, figura 3.30, pelo fato de não ser possível limpar toda a cavidade como acontece num dente real. Outros fatores foram o desgaste só acontecer ao nível da ponta da broca figura 3.25 e o cansaço refletido no pulso, pela falta de suporte para um apoio do dedo. Isto provocou um aumento dos níveis de frustração e por vezes descidas no nível de desempenho, como acharam que não conseguiram realizar o exercício na sua totalidade. Praticamente todos os participantes sentiram uma discrepância entre o tempo de realização do procedimento no simulador face ao mesmo exercício em ambiente de clínica ou pré-clínico, no simulador o tempo foi consideravelmente superior.

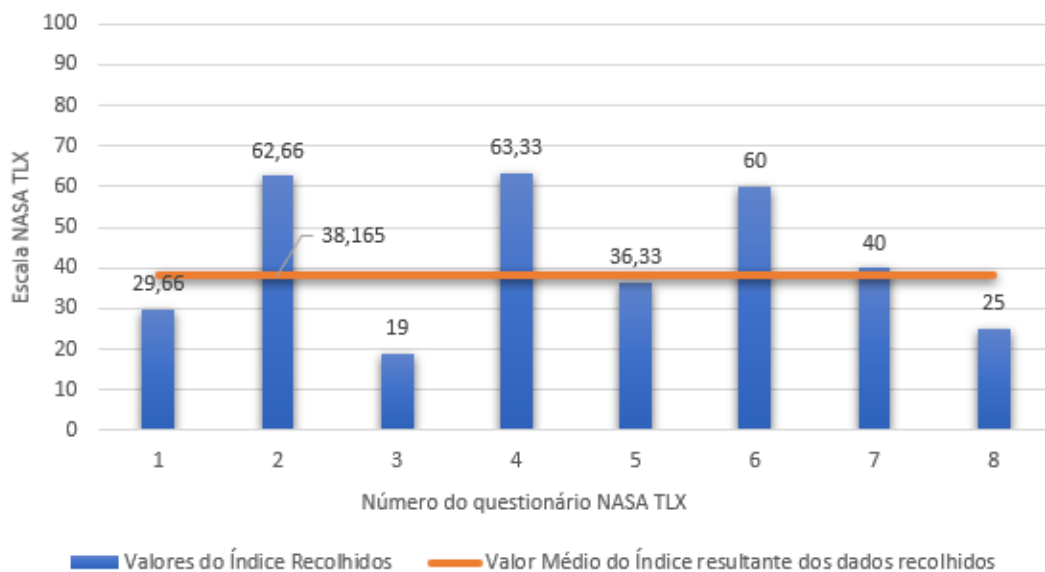


Figura 4.5: 1ª Sessão de Avaliação - Resultados de avaliação da carga de trabalho sobre a tarefa de preparação de cavidades no simulador

### 4.3.4 Feedback sobre a Experiência

Em suma, praticamente todos os participantes sentiram que o exercício realizado excedia o tempo esperado e isto deve-se a um conjunto de fatores. A versão inicial, apresentava um dente desproporcional face à turbina, a rigidez dos tecidos, como o esmalte e a dentina ainda se encontravam com elevado nível de rigidez, tornando assim difícil remover o tecido. Adicionalmente, a turbina apenas re-

alizava o desgaste na extremidade da broca. Segundo o *feedback* dos participantes, existiu consenso ditando que o treino num dente de elevadas proporções apenas faz sentido numa fase introdutória à instrumentação. Ou seja, as elevadas proporções são úteis quando o aluno está focado em compreender como se segura a turbina, qual a postura adequada, como realizar a deformação, ou seja, quando existe um foco nas etapas básicas e não no treino do procedimento técnico de instrumentação. Assim, quando o aluno adquiriu uma percepção satisfatória dos aspetos básicos, os profissionais sentem que o treino seria bastante mais proveitoso se o dente se apresentar à escala e/ou em proporção com a turbina, tornando assim a sessão de treino mais próximo da realidade.

Nesta fase, praticamente todos os participantes se sentiram frustrados, como já identificado, principalmente por ser impossível limpar totalmente a cavidade e de a broca apenas desgastar na ponta. Assim, os participantes sentiram que o desgaste não ocorria onde queriam, nem como queriam.

Nesta fase os participantes começaram a reportar algum cansaço na mão/braço após usar o simulador por 15/20 minutos. O efeito de cansaço sentido deve-se ao fato do simulador não suportar nenhum descanso para o dedo, sendo este um apoio bastante importante para os especialistas, porque sempre que iniciam a tarefa de instrumentação recorrem ao apoio do dedo para aumentar o controlo da turbina e aumentar a precisão, sem tremores e ter algum apoio para ajudar a mitigar o cansaço. Um dos fatores que também contribuiu para intensificar o cansaço, foi a altura da caneta háptica, pelo que os especialistas reportaram que esta se encontrava numa mesa um pouco elevada face à posição normal de trabalho. Como a caneta háptica se encontrava em cima de uma mesa os participantes encontravam-se com as mãos ligeiramente afastadas do centro do corpo, face ao que acontece em ambiente de clínica, ajudando assim a aumentar o cansaço sentido ao nível do braço responsável por manusear a turbina.

Todos os participantes intensificaram que o fato de o exercício fornecer uma experiência em realidade virtual, tornou o exercício mais imersivo, sentiram-se completamente inseridos no mundo virtual, ninguém reportou desconcentrações por fatores externos, todos indicaram que se sentiram completamente focados na tarefa, algo que não acontece em ambiente real. Houve, no entanto, quem reportou que o fundo inicial, reticulado, interferia no processo de focagem no dente.

Todos os participantes reportaram que o *feedback* auditivo, tanto o som da turbina como da interface aural, foram bastante importantes nestes exercícios de treino. Como no ambiente de clínica e pré-clínica não possuem nenhum guia a dar *feedback* sobre o desempenho, sentiram que estas ajudas numa fase de treino são bastante interessantes e úteis para orientar, treinar e ajudar os alunos a ganhar novas percepções. Ninguém reportou que o simulador apresentasse qualquer *feedback* desnecessário ou distrativo.

Sobre o *feedback* háptico retornado pela caneta, houve uma grande divisão. Metade reportou que sentiu a resistência oferecida pela caneta enquanto desgastava, enquanto a outra metade reportou que não sentiu. A metade que não sentiu pode dever ao fato durante o desgaste não mover praticamente a caneta, ou mover demasiado lentamente, o que não permite perceber o *feedback* háptico. No entanto, dos participantes que sentiram, a maioria indicou que não sentiu diferença entre a resistência do esmalte e da dentina e que a resistência apresentada, estava leve para a camada do esmalte, mas rija

para a camada da dentina.

A maioria dos participantes, a exceção de 2 participantes, sentiram que estes simuladores têm o potencial de ajudar o aluno a melhorar a destreza manual. Para tal, referem que o simulador deve permitir o participante adotar sempre uma posição natural, semelhante à posição de mãos que assume num ambiente de clínica ou pré-clínica. Houve também quem assumisse uma posição mais conservadora face a estas soluções. Sendo da opinião que estes simuladores apresentavam um maior valor ao ajudar a assimilar conhecimentos técnicos em oposição a ajudar a treinar componentes como a destreza manual. Foi sugerido que estas tecnologias teriam uma maior utilidade para treinos de sistematização de processos, visualização de componentes noutra formato.

No entanto, todos os participantes são da opinião que o simulador apresentado é interessante e apresenta potencial. A maioria dos especialistas de medicina dentária partilha da opinião que soluções deste género são o próximo passo no mundo do ensino e que os alunos podem obter diversos benefícios por recorrer a estas soluções durante a fase de treino em ambiente pré-clínico.

## **4.4 Resultados Finais**

A última sessão de treino representa a avaliação sobre o sistema na fase final. A fase final apresenta alguns pontos diferentes face à solução testada na primeira fase, tais como, fundo sólido de cor semelhante a tecidos moles, passou a ser possível mover o dente em todos os eixos através do controlador usado na mão, os efeitos de deformação aumentaram, diminuindo assim a rigidez do esmalte e dentina, ajustada a resistência fornecida pela caneta na camada do esmalte e dentina, ajuste na deformação de modo a serem criados menos picos de esmalte, dente proporcional ao tamanho da turbina.

Esta fase de avaliação foi constituída por 13 participantes. Todos os participantes encontram-se formados e a exercer na área da medicina dentária. Dois dos participantes desta sessão de avaliação participaram na primeira fase de avaliação. Todos os participantes possuem o mestrado em medicina dentária. A maioria dos especialistas encontra-se, no momento da realização dos testes, a exercer as áreas de dentisteria e reabilitação oral. Porém, também fizeram parte do estudo, profissionais que exercem as áreas de implantologia, ortodontia e cirurgia.

A experiência média dos especialistas, traduzida em anos num ambiente de clínica, é de sensivelmente de três anos e meio. O tempo mínimo reportado a exercer as funções de médico dentista foi de um mês e o máximo foi de 14 anos. Cerca de 6 participantes são do género feminino e 7 são do género masculino. A experiência reportada com sistemas de realidade virtual foi semelhante à reportada na primeira fase de testes, sendo que ninguém tem um contacto assíduo com estas tecnologias e foi apenas usada em contexto de estudos de investigação na área de medicina dentária. No entanto, aqui ninguém reportou ter alguma vez usado uma caneta háptica.

Para a nova sessão de avaliação foi realizado o seguinte plano de exercícios para 13 participantes. Mantiveram-se os exercícios realizados na sessão de avaliação inicial.

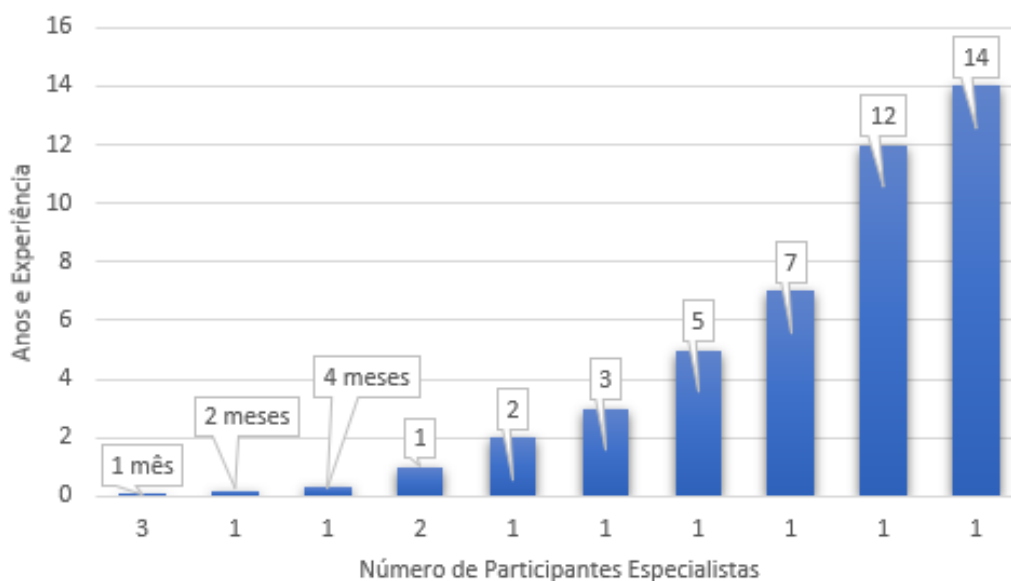


Figura 4.6: 2ª Sessão de Avaliação - Anos de experiência dos especialistas

#### Plano de Exercícios e respectivo Número de Participantes

- 6 participantes - Preparação Cavidade Classe 1 - Modo Treino
- 3 participantes - Preparação Cavidade Classe 1 com dente Adjacente - Modo Treino
- 2 participantes - Preparação Cavidade Classe 2 com dente adjacente - Modo Treino
- 2 participantes - Preparação Cavidade Classe 1 - Modo Avaliação

#### 4.4.1 Experiência de Realidade Virtual

Os participantes reportaram novamente efeitos como dores de cabeça, vista cansada, dificuldades em manter o foco, visão turva e aumento dos níveis de saliva. No entanto, comparando com a sessão inicial, ninguém reportou tonturas após retirar os óculos. Segundo os dados apresentados, o número de participantes que sentiram os respectivos efeitos é idêntico aos da primeira fase de avaliação. Nesta fase foi reportado um número menor de efeitos secundários e o número de pessoas que sentiram os efeitos secundários por secção manteve-se, sendo que a população considerada no estudo foi maior face à primeira sessão de avaliação. A vista cansada continua a ser o efeito secundário mais frequente, com um máximo de três participantes a reportarem o efeito.

Assim, é possível concluir que a experiência virtual, fornecida pelos óculos de realidade virtual podem fornecer alguns efeitos secundários, sendo o mais frequente a vista cansada, dor de cabeça e visão turva. No entanto, a visão turva foi verificada que se deve ao uso de máscaras. Estes efeitos foram sentidos por apenas uma pequena parte dos participantes, sempre que foram sentidos foram num modo leve. Aumentar o número de participantes do estudo não resultou num aumento dos participantes que sentiram os efeitos de forma proporcional.

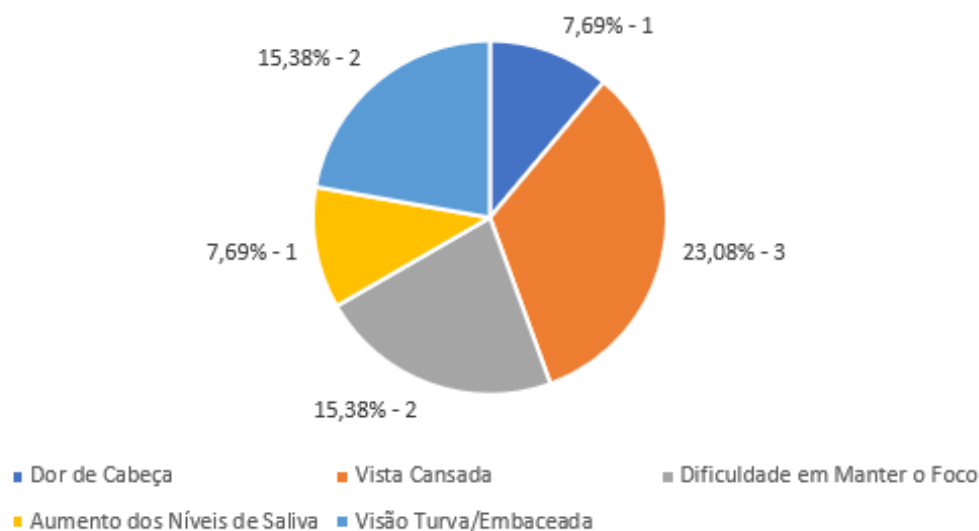


Figura 4.7: 2ª Sessão de Avaliação - Efeitos secundários sentidos pelos participantes usando os óculos de realidade virtual

#### 4.4.2 Usabilidade

A figura 4.8 apresenta os resultados dos questionários de usabilidade, *SUS*. O resultado reportado mais elevado foi 90 pontos e o mais baixo 62,5 pontos. Com base nas respostas dos especialistas, a pontuação média de usabilidade do sistema é de 77,5 pontos. Encontrando-se assim, 9,5 pontos acima da média, pontuação de 68. Existindo assim um ligeiro aumento, de 3,75 pontos, face aos resultados da primeira versão do simulador.

Nesta fase, os valores reportados encontram-se mais coesos, sendo que o desvio padrão é de 8,4 pontos, onde na primeira fase foi de 12,1 pontos. A opinião dos especialistas também se demonstrou ser mais coesa, pelo que o valor do desvio padrão diminuiu perto de 4 pontos, onde na primeira fase obteve-se um desvio de 12,1 pontos.

Como se pode observar na figura 4.9, os resultados tenderam a ser ligeiramente mais positivos na segunda fase de avaliação, mas sem diferenças significativas. As perguntas que tiveram uma maior diferença face à primeira fase de avaliação foram a pergunta 1 (Eu penso que gostaria de usar este sistema com frequência.), a pergunta 8 (Eu penso que o sistema é complicado de usar.) e a pergunta 10 (Eu precisei de aprender várias coisas antes de conseguir usar o sistema.). Para obter uma boa pontuação neste questionário, segundo a estruturação do questionário, as perguntas ímpares devem obter uma resposta perto do valor 5 (concordo totalmente) e as questões pares devem obter uma resposta perto do valor 1 (discordo totalmente).

A figura 4.9, apresenta que esta foi a tendência seguida pelos participantes, em qualquer uma das fases, com exceção da questão 4 (Eu penso que precisaria de ajuda de uma pessoa com conhecimentos técnicos para usar o sistema.).

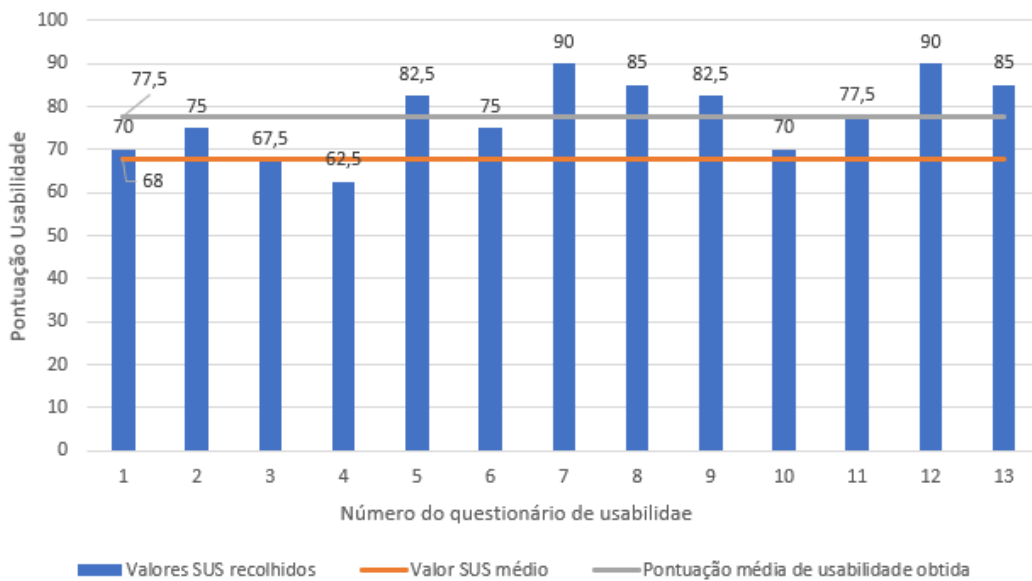


Figura 4.8: 2ª Sessão de Avaliação - Resultados do questionário de usabilidade - SUS

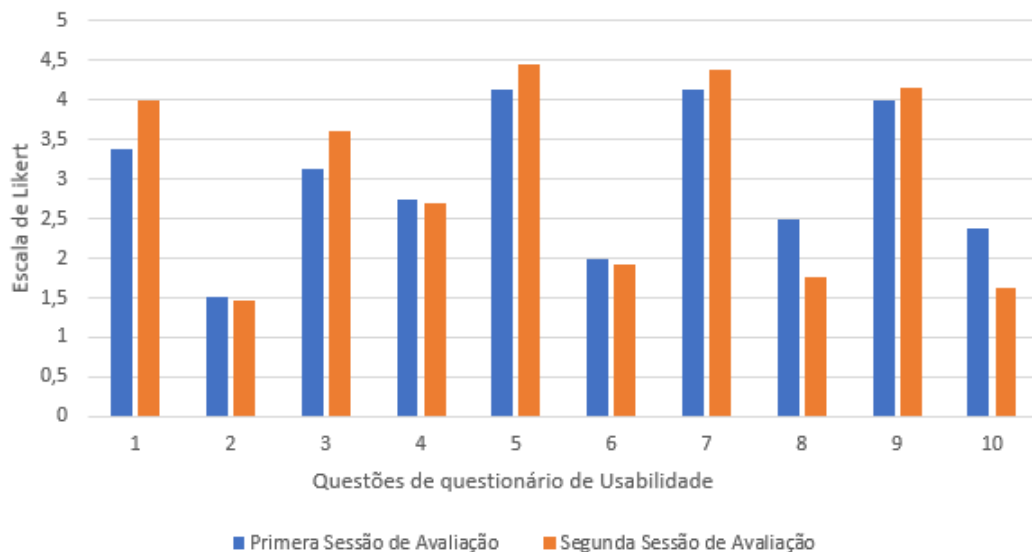


Figura 4.9: Média da pontuação das perguntas do questionário de usabilidade da 1ª e 2ª sessão de avaliação

### 4.4.3 Carga de Trabalho

Recorrendo à figura 4.10 é possível observar os resultados subjetivos dos participantes sobre o nível de carga do exercício de preparação de cavidades, relativamente à segunda sessão de avaliação. A média da carga de trabalho baixou para os 33%, face ao valor de 38% resultante da primeira sessão de avaliação. Portanto, as alterações realizadas contribuíram para uma perceção menor da carga de trabalho. O desvio padrão dos valores apresentados da carga de trabalho é de 14,7 %, o que sugere que existe alguma discordância nos resultados. No entanto, não a um nível extremo. A figura permite

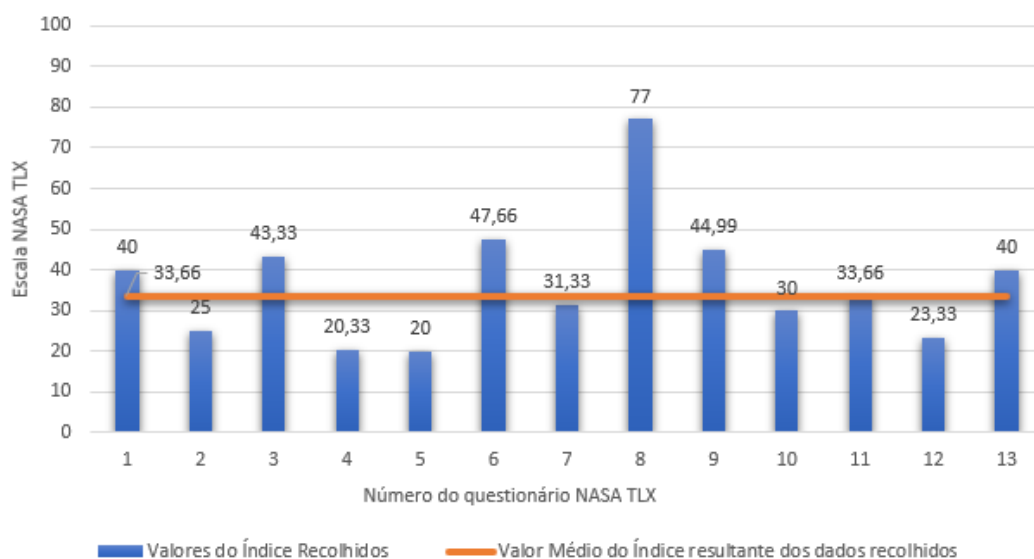


Figura 4.10: 2ª Sessão de Avaliação - Resultados de avaliação da carga de trabalho sobre a tarefa de preparação de cavidades no simulador

verificar que houve um participante que teve uma percepção bastante elevada sobre a carga de trabalho, 77% de 100%. Comparando com o valor mínimo de 20% existe uma discrepância considerável entre o menor valor e o máximo reportado. O resultado de carga de trabalho elevado, 77%, está diretamente relacionado com as limitações do simulador. Sendo que houve participantes que conseguiram adaptar-se melhor ao simulador e às suas limitações, proporcionando-se mais tolerantes a protótipos experimentais.

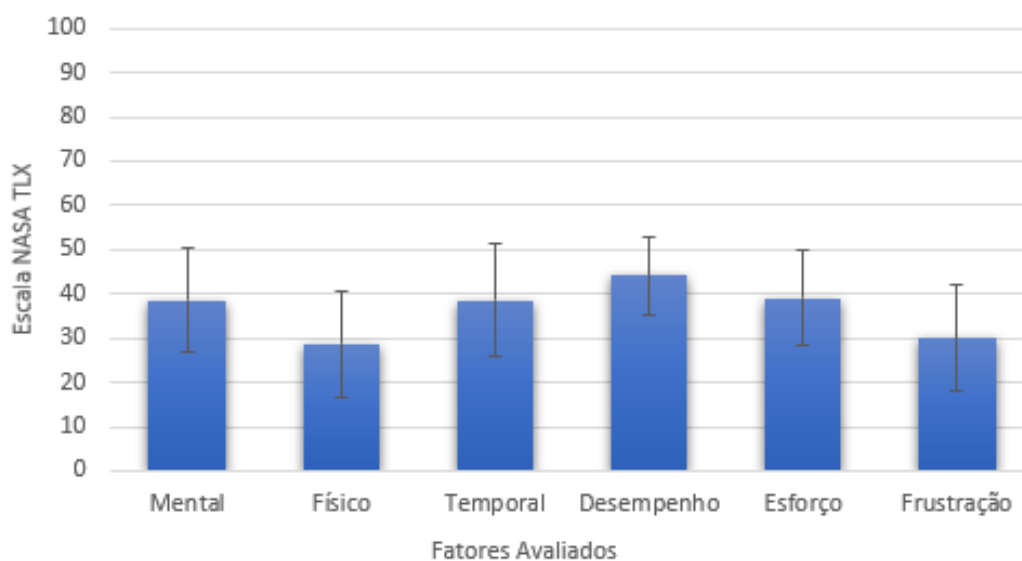


Figura 4.11: 2ª Sessão de Avaliação - Média da pontuação dos fatores consideradores

A figura 4.11 permite observar a média da pontuação dos diferentes fatores considerados para criar



a pontuação da carga de trabalho, sendo completado com o desvio padrão, de forma a identificar a divergência nas diferentes componentes. O fator temporal foi o que gerou mais discrepância, sendo que os participantes com menos experiência indicaram geralmente que o tempo do exercício correspondia ao tempo de uma preparação semelhante num dente real, enquanto os participantes com mais experiência indicaram o contrário.

Observando os resultados, quando existe pouca experiência, tende-se a ser mais cuidadosos, para evitar desgastes desnecessários ou perigosos. Sendo que no simulador como é algo virtual não há necessidade de ser tão cuidado como se verifica num ambiente clínico, no entanto, o simulador não desgasta da mesma forma, sendo que poderá ser uma possibilidade desta visão por parte dos participantes com menos experiência. Ou seja, um fator acaba por compensar outro, podendo assim transmitir a sensação de tempos semelhantes.

Segundo os dados, o fator mental foi considerado ter uma carga bastante considerável, mas segundo o *feedback* em entrevista o valor alto não se atribui ao aspeto técnico do exercício, mas devido às funcionalidades suportadas pelo controlador de realidade virtual. Todos os botões do controlador apresentavam uma funcionalidade diferente e numa fase inicial os participantes sentiram-se um pouco sobrecarregados ao receber esta informação e ao tentar decorar todas as funcionalidades do comando, sendo que na simulação não existe qualquer informação sobre as funcionalidades do controlador. Como consequência, por diversas vezes os participantes esqueciam-se das funcionalidades presentes no comando.

O aspeto físico deveria apresentar um valor perto de zero ou zero, mas, os participantes sentiram falta do apoio do dedo e como tal voltaram a reportar nesta fase cansaço no braço devido à falta de algum suporte para o dedo. No entanto, nesta fase os participantes apoiaram o braço numa superfície plana desde o início do exercício, atenuando assim o cansaço sentido durante a execução do exercício.

O resultado do desempenho deveria apresentar um valor elevado, no entanto, é um valor perto do meio da escala embora os participantes tenham conseguido preparar as cavidades propostas. No entanto, existem diversos fatores que justificam este valor baixo, tais como, os picos que ainda surgem durante a remoção do esmalte, embora com menos frequência, a deformação não acontece em toda a área da broca, o fato de ser possível trespassar o dente e atingir tecidos que não seria possível num dente real, sem primeiro realizar o desgaste.

Como tal, estes são fatores que afetam a perceção do desempenho do utilizador e como existem limitações que afetam consideravelmente a experiência, a pontuação do desempenho sofre com estas limitações, assim como a pontuação da frustração. Em média, os utilizadores sentem que existe algum esforço para realizar um exercício de preparação de cavidade, entre decorar as funcionalidades do comando, adquirir experiência sobre a melhor posição para realizar a deformação, lidar com as limitações do simulador.

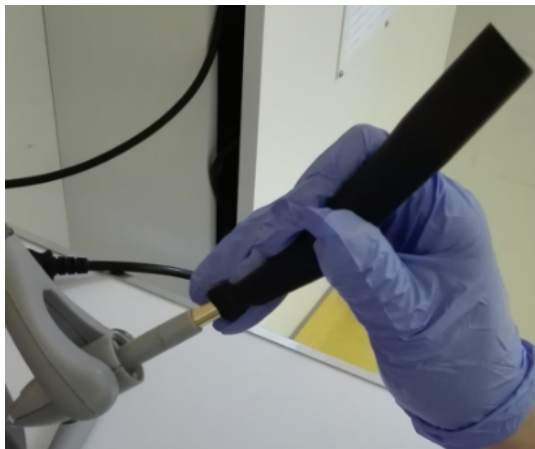
#### 4.4.4 Feedback sobre a Experiência

Segundo o *feedback* retornado, todos os participantes indicaram que tiveram uma experiência positiva com o simulador. Os especialistas sentiram, no entanto, que existe uma ligeira curva de aprendizagem, dado que existe contacto com um sistema novo e que requer o contacto com diversos aparelhos novos. No entanto, no fim da realização dos exercícios de preparação de cavidades, os participantes em média usaram o sistema por 30 minutos e após este tempo, sentiam-se mais confortáveis em manusear a turbina e começavam a adquirir experiência sobre os movimentos ideais a realizar na caneta. No início da simulação todos os participantes começam com a pega normal sobre a caneta háptica, figura 4.12(a), no entanto, como a caneta se encontra acoplada no ponto errado alguns dos participantes sentiam algo estranho entre a percepção da pega e o resultado do movimento na turbina no simulador, pelo que por vezes sentiam a necessidade de adaptar a pega, figura 4.12(b). Numa fase de ambientação e por não dominarem os controlos do simulador, como por exemplo a possibilidade de movimentação do dente, por vezes os participantes realizavam movimentos pouco naturais com a turbina, figura 4.12(c), sugerindo assim que usar um comando repleto de funcionalidades não é natural para os especialistas da área da medicina dentária.

Durante a sessão de entrevista foi possível determinar que existem participantes que não sentiram desconforto em usar o comando, cerca de metade, sendo que alguns destes reportaram estar familiarizados com consolas de jogos, e os restantes participantes que reportaram que preferiam não usar o comando, sendo que transmite algum desconforto e por vezes atrapalhava. Sugerindo assim que o ideal seria adotar outra interface para realizar as funcionalidades suportadas pelo comando. A figura 4.12(d) apresenta a posição de trabalho assumida pelos especialistas durante a realização dos exercícios, sendo que é possível notar o apoio do braço, que permite aliviar o cansaço sentido pela falta de suporte para apoio de dedos.

A maioria dos participantes durante a sessão de entrevista ao partilhar a sua experiência esclareceu que perto do fim começaram a compreender como contornar as limitações apresentadas pelo simulador, como manusear a caneta e a usar as funções do comando a seu favor. Assim, sugere que o simulador tem uma curva de aprendizagem relativamente curta, no entanto, os resultados apresentados sobre o índice de carga, secção 4.4.3 foram relativamente altos, isto porque este estudo consistiu maioritariamente por especialistas que só usaram o sistema uma única vez, sendo que segundo o *feedback* existe a ideia de que os níveis de carga de trabalho tenham tendência a baixar consoante o aumento de número de utilizações por parte dos utilizadores.

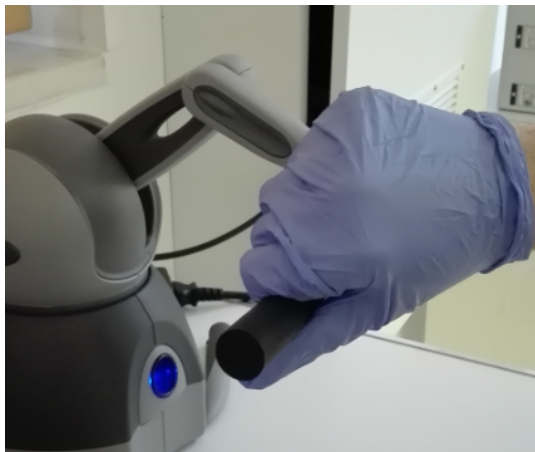
Na versão final do simulador, praticamente todos os participantes conseguiram sentir a resistência oferecida pela caneta háptica nas diferentes camadas durante o processo de deformação. De notar que os participantes que sentiram a resistência, conseguiram detetar a diferença entre a resistência na camada do esmalte e na camada da dentina. Geralmente, o *feedback* dos especialistas é que a resistência do esmalte está próxima da realidade, no entanto, existe uma pequena amostra de especialistas que transmitem a ideia de que a resistência está um pouco demais enquanto outros que está um pouco menos do que o expectável. Em contrapartida, a maioria dos especialistas também referiu que a resistência sentida na camada da dentina ainda oferece demasiada resistência, mas estando



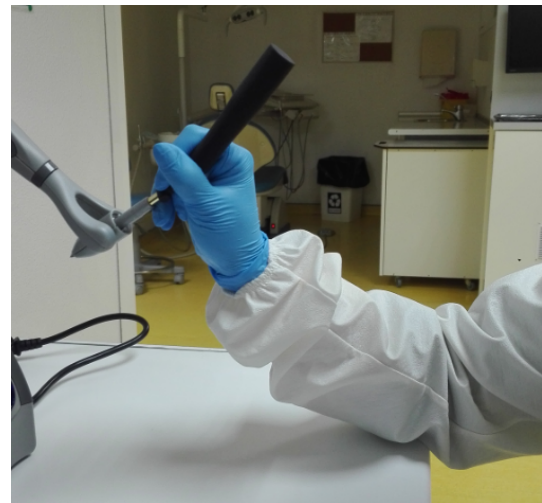
(a) Pega da caneta háptica na posição inicial



(b) Pega da caneta háptica adaptada



(c) Caneta háptica em posição pouco natural



(d) Pega caneta háptica com apoio de braço numa superfície plana

Figura 4.12: Pega caneta háptica

mais próximo do que a versão inicial. Existiu também um participante que reportou uma excelente experiência ao deformar a dentina, indicando que o desgaste realizado transmitiu a mesma sensação de desgastar a dentina num dente real. Portanto, conseguimos perceber que a percepção tátil é um campo bastante subjetivo.

Parte dos especialistas sentiu ser possível movimentar o dente com demasiada liberdade, semelhante ao ambiente pré-clínico, mas bastante diferente do ambiente clínico. No ambiente clínico a única forma de visualizar diferentes secções do dente é recorrendo ao espelho, usando assim a visão indireta. O formato atual de simulação não suporta o espelho e permite movimentar livremente o dente, sendo que se identifica com o treino em ambiente pré-clínico.

Os especialistas referiram que este formato de exercício é ideal para uma fase inicial do treino de preparação de cavidades, sendo que numa fase posterior o simulador deveria apresentar uma arcada

em oposição a apenas um dois dentes juntos, um formato posterior, seria tentar replicar um ambiente de clínica onde seria apresentado um paciente virtual com boca, língua e arcada, com possibilidade de existir um gabinete com cadeira. Segundo o *feedback* dos profissionais, segundo as suas observações dos alunos, existe ainda um salto grande aquando a introdução de alunos no ambiente de clínica, sendo que são da opinião de que a familiarização com um ambiente de clínica virtual poderá ajudar a atenuar a introdução do aluno no ambiente de clínica.

Como mencionado no início da secção, existiram dois participantes que fizeram parte das duas sessões de avaliação, e embora seja uma amostra pequena, houve um *feedback* positivo quanto à evolução do simulador. Sentindo assim o simulador a aproximar-se mais da realidade e a tornar a experiências mais agradável.

Segundo os especialistas, os fatores que limitam o simulador continuam a ser a falta de suporte para apoio do dedo, a deformação ocorrer apenas na extremidade da broca. Todos os especialistas aderiram bem à experiência, sentido que recorrer à realidade virtual pode ajudar a aumentar a curiosidade e o interesse dos alunos, bem como servir como uma ferramenta de exploração e aquisição de novas habilidades.

Posto isto, os participantes consideravam adotar estas tecnologias como complemento às técnicas tradicionais de treino, usando os frasacos, mas, o protótipo atual precisaria de resolver as limitações já identificadas pelos profissionais para estar assim apto e preparado a ser experimentado e usado pelos alunos, dado que segundo a opinião dos especialistas em medicina dentária, recorrer ao simulador atual para realizar sessões de treino poderá incorrer em adoção de uma postura de mãos incorreta, dificultando assim a aquisição das posturas ideais.

## Capítulo 5

# Conclusões

O trabalho apresentado descreve a solução Dentify que é um simulador háptico de realidade virtual. Os detalhes de implementação do trabalho foram descritos no capítulo 3, seguido da sua avaliação no capítulo 4. O trabalho resultou na implementação de um protótipo funcional, embora com algumas limitações. Assim, com base nos resultados obtidos, é possível concluir que a solução apresenta potencial para ser adotado como complemento às técnicas tradicionais de treino em ambiente pré-clínico. Foi determinado que os profissionais têm interesse em atualizar o leque de ferramentas de treino disponibilizadas aos alunos, de forma a se sentirem mais interessados e de forma a conseguirem adquirir habilidades mais rapidamente.

O consenso dos especialistas é que o simulador apresentado e simuladores focados na fase de perfuração dentária com recurso à tecnologia de realidade virtual e de *feedback* háptico, apresentam um potencial elevado na fase de treino dos alunos. Demonstrou-se existir um interesse em disponibilizar este simulador aos alunos. No entanto, apesar de os resultados serem positivos, os especialistas só consideravam incorporar este simulador caso as limitações relevantes identificadas fossem resolvidos, sendo que atualmente, algumas limitações podem provocar efeitos negativos na aprendizagem no aluno, como é o caso da posição de trabalho com a turbina, o simulador transmite uma maior facilidade do desgaste quando a posição da turbina se encontra totalmente na vertical onde tal não acontece no mundo real. Concluindo, o estudo conseguiu obter resultados positivos relativamente à adoção deste simulador e tecnologias associadas em ambiente pré-clínico.

### 5.1 Trabalho Futuro

Esta secção pretende apresentar os possíveis próximos passos de forma a tornar a solução mais completa e fornecer uma experiência mais próxima da realidade. As sugestões apresentadas têm como base as limitações técnicas conhecidas do simulador bem como o *feedback* apresentado pelos diversos especialistas na área da medicina dentária.

**Apoio de Dedo** Referido por diversos especialistas, o apoio do dedo é algo essencial no processo de preparação de cavidades, sendo que recorrem a este tipo de apoio para obter mais estabilidade

e controlo no manuseamento dos instrumentos rotatórios. Consequentemente este apoio reflete-se numa diminuição do cansaço, em conjunto com a adoção de uma postura confortável e com os braços fletidos. Assim será interessante, estender o modelo 3D da turbina que se encontra acoplado à caneta háptica de forma a possibilitar o apoio do dedo.

**Motor de Voxels** Outro fator bastante importante neste tipo de simuladores, que requerem manipulação de tecidos, está relacionado com a composição dos diferentes tecidos a deformar. A solução atual, como apresentado, é composta por diversas camadas sendo todas apenas compostas pela superfície visível, sendo que todas as camadas do dente não contêm nenhum conteúdo no seu interior, sendo, portanto, realizada uma simulação da ação de deformação, sendo assim conseguida através da manipulação dos vértices que compõem as diferentes camadas.

De forma a tornar o processo de deformação mais realista, ou seja, para conseguir realizar a deformação com toda a área da broca é necessário continuar a explorar um caso de teste apresentado na secção 3.6, que corre a um motor de *voxels*, sendo este motor responsável por apresentar o dente e realizar o processo de deformação do dente. Esta abordagem permite resolver os restantes fatores que foram considerados afetar mais a experiência, tais como a área de desgaste ser bastante limitada devido à turbina apenas desgastar na sua extremidade e o fato de surgirem picos de esmalte durante o processo de deformação.

# Bibliografia

- [1] P. Rhienmora, K. Gajananan, P. Haddawy, M. N. Dailey, and S. Suebnukarn. Augmented reality haptics system for dental surgical skills training. In *Proceedings of the 17th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, VRST '10*, page 97–98, New York, NY, USA, 2010. Association for Computing Machinery. ISBN 9781450304412. doi: 10.1145/1889863.1889883. URL <https://doi.org/10.1145/1889863.1889883>.
- [2] S. Perry, S. Bridges, and M. Burrow. A review of the use of simulation in dental education. *Simulation in healthcare : journal of the Society for Simulation in Healthcare*, 10, 01 2015. doi: 10.1097/SIH.000000000000059. URL <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25574865/>.
- [3] S. Suebnukarn, N. Phatthanasathiankul, S. Sombatweroje, P. Rhienmora, and P. Haddawy. Process and outcome measures of expert/novice performance on a haptic virtual reality system. *Journal of dentistry*, 37:658–65, 05 2009. doi: 10.1016/j.jdent.2009.04.008. URL <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19481326/>.
- [4] C. Luciano, P. Banerjee, and T. DeFanti. Haptics-based virtual reality periodontal training simulator. *Virtual Reality*, 13:69–85, 06 2009. doi: 10.1007/s10055-009-0112-7. URL [https://www.researchgate.net/publication/220530183\\_Haptics-based\\_virtual\\_reality\\_periodontal\\_training\\_simulator](https://www.researchgate.net/publication/220530183_Haptics-based_virtual_reality_periodontal_training_simulator).
- [5] Kobra simulator homepage, . URL <https://www.kobrasimulator.com/>. Último acesso a 21 Dezembro 2020.
- [6] Virteasy simulator homepage, . URL <https://www.virteasy.com>. Último acesso a 21 Dezembro 2020.
- [7] Leonardo training simulator homepage, . URL <http://www.leonardo-dental.com/>. Último acesso a 21 Dezembro 2020.
- [8] Moog simodont dental trainer homepage, . URL <https://www.simodontdentaltrainer.com/>. Último acesso a 21 Dezembro 2020.
- [9] M. Kolesnikov, M. Zefran, A. D. Steinberg, and P. G. Bashook. Periosim: Haptic virtual reality simulator for sensorimotor skill acquisition in dentistry. In *2009 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pages 689–694, 2009. doi: 10.1109/ROBOT.2009.5152751. URL <https://ieeexplore.ieee.org/document/5152751>.

- [10] R. Khanna, S. Sharma, and M. Rana. Haptics: The science of touch in periodontics. *Digital Medicine*, 1:58, 01 2015. doi: 10.4103/2226-8561.174768. URL [https://www.researchgate.net/publication/291827005\\_Haptics\\_The\\_science\\_of\\_touch\\_in\\_periodontics](https://www.researchgate.net/publication/291827005_Haptics_The_science_of_touch_in_periodontics).
- [11] P. Rhiemora, P. Haddawy, S. Suebnukarn, and M. N. Dailey. Intelligent dental training simulator with objective skill assessment and feedback. *Artificial Intelligence in Medicine*, 52(2):115 – 121, 2011. ISSN 0933-3657. doi: <https://doi.org/10.1016/j.artmed.2011.04.003>. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0933365711000352>. Artificial Intelligence in Medicine AIME 2009.
- [12] S. G. Maliha, J. R. Diaz-Siso, N. Plana, A. Torroni, and R. Flores. Haptic, physical, and web-based simulators: Are they underused in maxillofacial surgery training? *Journal of oral and maxillofacial surgery : official journal of the American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons*, 76 11: 2424.e1–2424.e11, August 2018. doi: 10.1016/j.joms.2018.06.177. URL <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30081008/>.
- [13] E. Roy, M. M. Bakr, and R. George. The need for virtual reality simulators in dental education: A review. *The Saudi Dental Journal*, 29(2):41 – 47, 2017. ISSN 1013-9052. doi: <https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2017.02.001>. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1013905217300135>.
- [14] X. Chen, L. Xu, Y. Sun, and C. Politis. A review of computer-aided oral and maxillofacial surgery: planning, simulation and navigation. *Expert Review of Medical Devices*, 13, 09 2016. doi: 10.1080/17434440.2016.1243054. URL <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27682359/>.
- [15] R. Hasan, M. Ghufuran, S. S. Javed, Hammad-ul-Haq, A. Azeem, and D. Jamil. Smart virtual dental learning environment. In *2019 4th MEC International Conference on Big Data and Smart City (ICBDSC)*, pages 1–4, 2019. doi: 10.1109/ICBDSC.2019.8645584. URL <https://ieeexplore.ieee.org/document/8645584>.
- [16] C. Corrêa, M. Machado, E. RANZINI, R. Tori, and F. Nunes. Virtual reality simulator for dental anesthesia training in the inferior alveolar nerve block. *Journal of Applied Oral Science*, 25:357–366, 08 2017. doi: 10.1590/1678-7757-2016-0386. URL <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28877273/>.
- [17] M. M. Bakr, W. L. Massey, and H. Alexander. Can virtual simulators replace traditional preclinical teaching methods: A students’ perspective? *International Journal of Dentistry and Oral Health*, 2, 01 2016. doi: 10.16966/2378-7090.149. URL [https://www.researchgate.net/publication/303322548\\_Can\\_Virtual\\_Simulators\\_Replace\\_Traditional\\_Preclinical\\_Teaching\\_Methods\\_A\\_Students%27\\_Perspective](https://www.researchgate.net/publication/303322548_Can_Virtual_Simulators_Replace_Traditional_Preclinical_Teaching_Methods_A_Students%27_Perspective).
- [18] M. Bakr, W. Massey, and H. Alexander. Evaluation of simodont® haptic 3d virtual reality dental training simulator. *International Journal of Dental Clinics*, 5:1–



- 6, 2012. URL <https://www.semanticscholar.org/paper/Evaluation-of-Simodont%C2%AE-Haptic-3D-virtual-reality-Bakr-Massey/f476bbe52dc0bed9c71cd23de7367f9958dbb5cb>.
- [19] G. Ben-Gal, E. Weiss, N. Gafni, and A. Ziv. Preliminary assessment of faculty and student perception of a haptic virtual reality simulator (idea dental ®) for training dental manual dexterity. *Journal of dental education*, 75:496–504, 04 2011. doi: 10.1002/j.0022-0337.2011.75.4.tb05073.x. URL [https://www.researchgate.net/publication/50989207\\_Preliminary\\_assessment\\_of\\_faculty\\_and\\_student\\_perception\\_of\\_a\\_haptic\\_virtual\\_reality\\_simulator\\_IDEA\\_Dental\\_R\\_for\\_training\\_dental\\_manual\\_dexterity](https://www.researchgate.net/publication/50989207_Preliminary_assessment_of_faculty_and_student_perception_of_a_haptic_virtual_reality_simulator_IDEA_Dental_R_for_training_dental_manual_dexterity).
- [20] X. Chen, P. Sun, and D. Liao. A patient-specific haptic drilling simulator based on virtual reality for dental implant surgery. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, 13, 08 2018. doi: 10.1007/s11548-018-1845-0. URL [https://www.researchgate.net/publication/326959266\\_A\\_patient-specific\\_haptic\\_drilling\\_simulator\\_based\\_on\\_virtual\\_reality\\_for\\_dental\\_implant\\_surgery](https://www.researchgate.net/publication/326959266_A_patient-specific_haptic_drilling_simulator_based_on_virtual_reality_for_dental_implant_surgery).
- [21] L. A. Pires, Y. R. Serpa, and M. A. Formico Rodrigues. Simimplanto - a virtual dental implant training simulator. In *2016 XVIII Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR)*, pages 193–197, 2016. doi: 10.1109/SVR.2016.41. URL <https://ieeexplore.ieee.org/document/7517275>.
- [22] Voxel man simulator homepage, . URL <https://www.voxel-man.com/>. Último acesso a 25 Janeiro 2021.
- [23] D. Systems. 3d systemsopenhaptics® unity plugin, 2019. URL <https://assetstore.unity.com/packages/tools/integration/3d-systems-openhaptics-unity-plugin-134024>. Último acesso a 25 Janeiro 2021.
- [24] G. Terra. Preparo e restauração classes ii e v em amálgama, 2011. URL <https://pt.slideshare.net/profguilhermeterra/preparo-e-restaurao-classes-ii-e-v-em-amlgama>. Último acesso a 24 Janeiro 2021.
- [25] 3m™ true definition scanner, 2021. URL [https://www.3m.com/3M/en\\_US/company-us/all-3m-products/?N=5002385+3293830687&rt=rud](https://www.3m.com/3M/en_US/company-us/all-3m-products/?N=5002385+3293830687&rt=rud). Último acesso a 24 Janeiro 2021.
- [26] Tris, quads & n-gons, . URL <https://resources.turbosquid.com/training/modeling/tris-quads-n-gons/>. Último acesso a 24 Janeiro 2021.
- [27] Constructive solid geometry, . URL [https://en.wikipedia.org/wiki/Constructive\\_solid\\_geometry](https://en.wikipedia.org/wiki/Constructive_solid_geometry). Último acesso a 24 Janeiro 2021.
- [28] A. Playware. Impact deformable, 2012. URL <https://assetstore.unity.com/packages/tools/physics/impact-deformable-4799>. Último acesso a 25 Janeiro 2021.
- [29] M. Hartl. Voxel generator, 2020. URL <https://assetstore.unity.com/packages/tools/terrain/voxel-generator-162883>. Último acesso a 25 Janeiro 2025.

[30] J. Sauro. Sustified? little-known system usability scale facts. User Experience: The Magazine of the User Experience Professionals Association, August 2011. <https://uxpamagazine.org/sustified/> Último acesso a 25 de Janeiro de 2021.

## **Apêndice A**

# **Comparação de Trabalhos**

Nome do Simulador	Ano de Publicação	Tipo	Áreas	RV/AR	Háptico	Baixo Custo	Situações de Emergência	Feedback em tempo real	Bancada	Gravação dos Procedimentos
PeroSim [2]		2009 Protótipo	Periodontia	RV	Sim	Sem Info.	Não	Sim	Não	Sim
IDEA [15]		2010 Protótipo	Dentisteria	RV	Sim	Sem Info.	Não	Sim	Não	
Simodont [13,21]		2012 Comercial	Dentisteria, Periodontia	RV	Sim	Não	Não	Sim	Sim	Sim
SMART [9]		2019 Protótipo	Sem Info.	RV	Não	Sem Info.	Não	Não se Aplica	Não	
Simimplanto [17]		2016 Protótipo	Implantologia	RV	Sim	Sem Info.	Não	Não	Não	
- [14]		2010 Protótipo	Dentisteria	AR	Sim	Sem Info.	Não	Não se Aplica	Não	
Kobra [18]		-	Comercial Dentisteria	RV	Sim	Não	Não	Sim	Sim	Sim
Virteasy [19]		-	Comercial Implantologia, Restauração, Endodontia e Próteses	RV	Sim	Não	Não	Sim	Sim	Sim
Leonardo Training Simulator [20]		-	Comercial Dentisteria, Anestesiologia, Higiene Dentária,	RV	Sim	Não	Não	Sim	Sim	Sim
VoxelMan		-	Comercial Dentisteria	RV	Sim	Não	Não	Sim	Sim	Sim

Figura A.1: Comparação de Trabalhos Estudados

## Apêndice B

# Excertos de Código Fonte do Simulador

```
public class DeformationConfig
{
    public float Radius;

    public int Hardness;

    public Vector3 DeformationsScale = Vector3.one;

    public DentalTissueHapticConfig DentalTissueHapticConfig;

    12 usages arturesteves *
    public DeformationConfig(float radius, int hardness, Vector3 deformationsScale,
        DentalTissueHapticConfig dentalTissueHapticConfig)
    {
        this.Radius = radius;
        this.Hardness = hardness;
        this.DeformationsScale = deformationsScale;
        this.DentalTissueHapticConfig = dentalTissueHapticConfig;
    }
}

8 usages arturesteves 1 exposing API
public class DentalTissueHapticConfig
{
    public float Strength;
    public float ForceDamping;

    4 usages arturesteves
    public DentalTissueHapticConfig(float strength = 1f, float forceDamping = 0.7f)
    {
        this.Strength = strength;
        this.ForceDamping = forceDamping;
    }
}
```

Figura B.1: Classes responsáveis por guardar os valores de configuração dos efeitos de deformação.

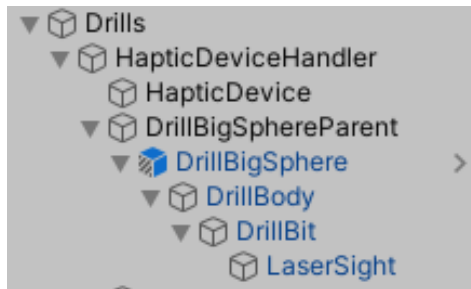


Figura B.2: Composição hierárquica de um modelo turbina.

```

Event function arturesteves *
void Update()
{
  if (!init)
  {
    return;
  }

  if (simulationManager.getCavityType() == CavityType.CLASS_2_SPECIAL_TOOTH)
  {
    detectCollisionOnVoxelTooth();
    return;
  }

  // detect collision on normal tooth
  detectCollision();
}

```

Figura B.3: Código na classe *DrillDeformation* responsável por detetar colisões e pedir a deformação dos tecidos.

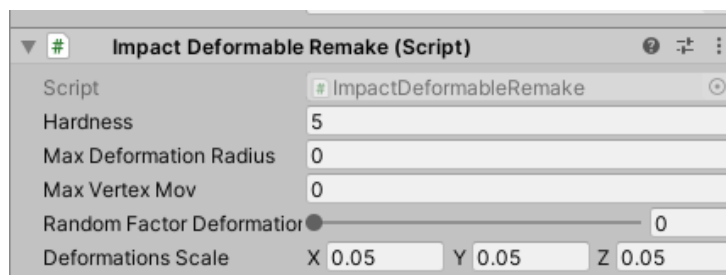


Figura B.4: Script responsável por realizar a deformação e está associado a todos os modelos deformáveis.

```

public static Dictionary<DeformationType, DeformationConfig> SetupDrillDeformationForBigBurBallRound()
{
    Dictionary<DeformationType, DeformationConfig> deformationConfigurations =
        new Dictionary<DeformationType, DeformationConfig>();

    // setup enamel deformation
    DeformationConfig enamelDeformationConfig = new DeformationConfig( radius: 3, hardness: 20,
        deformationsScale: new Vector3( x: 0.05f, y: 0.05f, z: 0.05f), hapticConfigs[DentalTissue.ENAMEL]);
    deformationConfigurations.Add(DeformationType.ENAMEL, enamelDeformationConfig);

    // setup dentine deformation
    DeformationConfig dentineDeformationConfig = new DeformationConfig( radius: 2, hardness: 15,
        deformationsScale: new Vector3( x: 0.06f, y: 0.06f, z: 0.06f), hapticConfigs[DentalTissue.DENTINE]);
    deformationConfigurations.Add(DeformationType.DENTINE, dentineDeformationConfig);

    // setup pulp deformation
    DeformationConfig pulpDeformationConfig = new DeformationConfig( radius: 2, hardness: 15,
        deformationsScale: new Vector3( x: 0.1f, y: 0.1f, z: 0.1f), hapticConfigs[DentalTissue.PULP]);
    deformationConfigurations.Add(DeformationType.PULP, pulpDeformationConfig);

    // setup gum deformation
    DeformationConfig gumDeformationConfig = new DeformationConfig( radius: 2, hardness: 20,
        deformationsScale: new Vector3( x: 5f, y: 5f, z: 5f), hapticConfigs[DentalTissue.GUM]);
    deformationConfigurations.Add(DeformationType.GUM, gumDeformationConfig);

    // setup on dentine proximity deformation
    DeformationConfig onDentineProximityDeformationConfig = new DeformationConfig( radius: 2, hardness: 20,
        deformationsScale: new Vector3( x: 60f, y: 60f, z: 60f), hapticConfigs[DentalTissue.DENTINE]);
    deformationConfigurations.Add(DeformationType.ON_DENTINE_PROXIMITY, onDentineProximityDeformationConfig);

    // setup on pulp proximity deformation
    DeformationConfig onPulpProximityDeformationConfig = new DeformationConfig( radius: 2, hardness: 10,
        deformationsScale: new Vector3( x: 40f, y: 40f, z: 40f), hapticConfigs[DentalTissue.PULP]);
    deformationConfigurations.Add(DeformationType.ON_PULP_PROXIMITY, onPulpProximityDeformationConfig);

    return deformationConfigurations;
}

```

Figura B.5: Exemplo de configuração das deformações a realizar nos diferentes tecidos, para uma broca.





## **Apêndice C**

# **Material de Suporte das Sessões de Avaliação**

# Guião Avaliações

## 1. Breve Apresentação e propósito do Projecto

- a. O projeto consiste num simulador háptico de realidade virtual com foco na fase de instrumentação. O objectivo é fazer um estudo e perceber se este tipo de simuladores são bem aceites na fase de ensino e conseqüentemente uma mais valia para a fase de treino dos alunos. Outro dos objetivos é identificar se este tipo de soluções seria um complemento ao treino tradicional, com recurso aos frascos.
- b. Preciso da tua ajuda (participante), para experimentares o protótipo criado e no fim partilhares comigo algum feedback relativamente à tua experiência com o simulador.
- c. Este projeto faz parte da minha tese de mestrado e está associado à tese de doutoramento do doutor Pedro.
- d. Preencher formulário de consentimento e de perfil demográfico.

## 2. Sessão de Treino com o Simulador

- a. Iniciar simulador e colocar username
- b. Mostrar no comando as possíveis operações de realizar
- c. Mostrar como ajustar o head-set
- d. Avançar para a simulação (para uma fase de experimentação)
  - i. Experimentar o modelo 3D da turbina e também o modelo de origem da caneta
  - ii. Verificar as funcionalidades existentes
  - iii. Olhar para o cenário
  - iv. Experimentar a deformação do tecido e experienciar o feedback háptico das diferentes camadas
- e. Iniciar gravação do procedimento
- f. Iniciar nova simulação mas com o objetivo de realizar o exercício apresentado até ao fim (Instrumentação de uma cavidade de Classe 1 ou Classe 2)
- g. Parar gravação do procedimento

## 3. Recolher Feedback

- a. Questionário Cyber-Sickness
- b. Questionário NASA-TLX
- c. Questionário SUS (Usabilidade do Sistema)
- d. Questionário de Avaliação do Simulador
- e. Sessão de entrevista

# Formulário de consentimento informado

Investigadores – Artur Esteves, 5º Ano Mestrado em Engenharia Informática e de Computadores, Instituto Superior Técnico

Investigador Principal – Prof. Doutor Daniel Simões Lopes

Orientadores – Prof. Doutor Daniel Simões Lopes, Dr. Pedro Rodrigues

**\*Obrigatório**

Caro participante,

Estamos a conduzir um estudo que consiste na avaliação de um protótipo de um simulador háptico de realidade virtual na área da medicina dentária com foco na fase de instrumentação.

Toda a informação obtida, incluindo fotografias e áudio, será tratada de forma confidencial, não podendo ser revelada a qualquer pessoa, no entanto, pode ser usada para análise estatística, ou para fins científicos.

Comprometemo-nos a guardar os dados durante 5 anos. Após este período, toda a informação será eliminada. Caso deseje, poderá pedir a remoção dos dados em qualquer altura. A sua autorização para participar no programa é voluntária, podendo se assim o desejar, negar qualquer consentimento em qualquer momento do estudo.

Para participar nesta experiência, pedimos-lhe que preencha o consentimento presente neste questionário, concordando com as frases escritas abaixo.

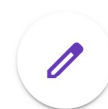
Obrigado pela sua colaboração!

Nome Participante \*

A sua resposta

Li e compreendi o significado deste estudo. Tive a oportunidade de colocar questões, caso necessário, e recolher as respectivas respostas. \*

Concordo



Compreendo que a participação neste estudo é voluntária e que posso desistir a qualquer momento, sem apresentar qualquer explicação. Caso tal aconteça, não serei alvo de qualquer penalização e os dados relativos à minha experiência serão removidos e destruídos. \*

Concordo

Autorizo a recolha de informação durante a sessão na forma de: \*

Áudio

Fotografias

Autorizo o uso dos dados recolhidos durante a sessão. \*

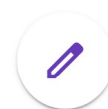
Concordo

Autorizo o processamento dos dados experimentais no âmbito deste projecto para fins de análise, investigação e disseminação de resultados em publicações científicas ou conferências na área do projecto, pelos investigadores deste projecto. \*

Concordo

Compreendi que os dados recolhidos neste estudo serão utilizados como mencionado anteriormente. \*

Concordo



Compreendi que em qualquer altura poderei ter acesso aos meus dados pessoais recolhidos neste estudo, bastando para o efeito contactar o investigador principal do projeto através do email: [daniel.lopes@inesc-id.pt](mailto:daniel.lopes@inesc-id.pt). \*

Concordo

De acordo com o descrito acima, autorizo a minha participação neste estudo e aceito as suas condições. \*

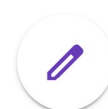
Concordo

**Submeter**

Nunca envie palavras-passe através dos Google Forms.

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pela Google. [Denunciar abuso](#) - [Termos de Utilização](#) - [Política de privacidade](#)

Google Formulários



# Questionário Demográfico - Docentes

\*Obrigatório

Qual o seu gênero? \*

- Masculino
- Feminino
- Prefiro não dizer
- Outra:

Qual a sua formação acadêmica? \*

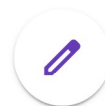
A sua resposta

Selecione a opção que mais se adequa a si. \*

- Docente
- Clínica
- Docente e Clínica

Há quanto tempo é docente?

A sua resposta



Indique os cursos que leciona?

A sua resposta

Selecione o(s) formato(s) de aula(s) que leciona.

- Teóricas
- Práticas - Laboratório
- Práticas - Clínica

Indique as áreas que exerce.

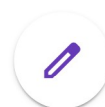
A sua resposta

Há quanto tempo exerce a profissão? \*

A sua resposta

Já teve alguma experiência com sistemas de realidade virtual? \*

- Sim
- Não



Com que frequência? \*

- Nunca
- Raramente
- Mensalmente
- Semanalmente
- Diariamente

Em caso afirmativo, usou em aplicações ligadas à área de medicina dentária?

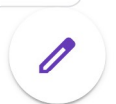
- Sim
- Não

Já teve contacto prévio com uma caneta háptica? \*

- Sim
- Não

Com que frequência? \*

- Nunca
- Raramente
- Mensalmente
- Semanalmente
- Diariamente





Em caso afirmativo, usou em aplicações ligadas à área de medicina dentária?

- Sim
- Não

Que tipo de técnicas já usou durante as aulas práticas de dentisteria?

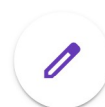
- Slides / Texto, Imagens 2D e Vídeos
- Frasacos
- Realidade Virtual / Realidade Aumentada
- Outras

**Submeter**

Nunca envie palavras-passe através dos Google Forms.

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pela Google. [Denunciar abuso](#) - [Termos de Utilização](#) - [Política de privacidade](#)

Google Formulários



# Questionário Demográfico - Alunos

\*Obrigatório

Qual o seu gênero? \*

- Masculino
- Feminino
- Prefiro não dizer
- Outra:

Idade \*

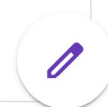
A sua resposta

Indique o curso que frequenta. \*

A sua resposta

Em que ano do teu percurso académico te encontras? \*

- 1º Ano
- 2º Ano
- 3º Ano
- 4º Ano
- 5º Ano



Indica uma estimativa do teu número de horas de treino por semana com fantasmas. \*

A sua resposta

Indica uma estimativa do teu número de horas de treino por semana em ambiente de clínica em dentisteria. \*

A sua resposta

Já teve alguma experiência com sistemas de realidade virtual? \*

Sim

Não

Com que frequência? \*

Nunca

Raramente

Mensalmente

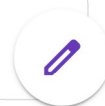
Semanalmente

Diariamente

Em caso afirmativo, usou em aplicações ligadas à área de medicina dentária?

Sim

Não



Já teve contacto prévio com uma caneta háptica? \*

- Sim
- Não

Com que frequência? \*

- Nunca
- Raramente
- Mensalmente
- Semanalmente
- Diariamente

Em caso afirmativo, usou em aplicações ligadas à área de medicina dentária?

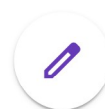
- Sim
- Não

A que tipo de técnicas já foste exposto durante as aulas práticas de dentisteria? \*

- Slides / Texto, Imagens 2D e Vídeos
- Frasacos
- Realidade Virtual / Realidade Aumentada
- Outras

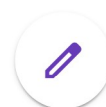
**Submeter**

 Nunca envie palavras-passe através dos Google Forms.



Este conteúdo não foi criado nem aprovado pela Google. [Denunciar abuso](#) - [Termos de Utilização](#) - [Política de privacidade](#)

## Google Formulários



# Formulário de Cyber-Sickness

Investigadores – Artur Esteves, 5º Ano Mestrado em Engenharia Informática e de Computadores, Instituto Superior Técnico

Investigador Principal – Prof. Doutor Daniel Simões Lopes

Orientadores – Prof. Doutor Daniel Simões Lopes, Dr. Pedro Rodrigues

**\*Obrigatório**

Caro participante,

Estamos a conduzir um estudo que consiste na avaliação de um protótipo de um simulador háptico de realidade virtual na área da medicina dentária com foco na fase de instrumentação.

Este formulário tem como objetivo avaliar os efeitos de cyber-sickness sentidos durante ou logo após a utilização do sistema em teste.

Toda a informação obtida, incluindo fotografias e áudio, será tratada de forma confidencial, não podendo ser revelada a qualquer pessoa, no entanto, pode ser usada para análise estatística, ou para fins científicos.

Comprometemo-nos a guardar os dados durante 5 anos. Após este período, toda a informação será eliminada. Caso deseje, poderá pedir a remoção dos dados em qualquer altura. A sua autorização para participar no programa é voluntária, podendo se assim o desejar, negar qualquer consentimento em qualquer momento do estudo.

Para participar nesta experiência, pedimos-lhe que preencha o consentimento presente neste questionário, concordando com as frases escritas abaixo.

Obrigado pela sua colaboração!

Sentiu algum desconforto geral? \*

- Nenhum
- Leve
- Moderado
- Severo



Sentiu cansaço? \*

- Nenhum
- Leve
- Moderado
- Severo

Sentiu dor de cabeça? \*

- Nenhum
- Leve
- Moderado
- Severo

Sentiu a vista cansada? \*

- Nenhum
- Leve
- Moderado
- Severo



Sentiu dificuldade em manter o foco? \*

- Nenhum
- Leve
- Moderado
- Severo

Sentiu um aumento dos níveis de transpiração? \*

- Nenhum
- Leve
- Moderado
- Severo

Sentiu um aumento dos níveis de saliva? \*

- Nenhum
- Leve
- Moderado
- Severo





Sentiu náusea? \*

- Nenhum
- Leve
- Moderado
- Severo

Vomitou? \*

- Nenhum
- Leve
- Moderado
- Severo

Sentiu desconforto abdominal?

- Nenhum
- Leve
- Moderado
- Severo



Sentiu dificuldade em concentrar-se (desorientação)? \*

- Nenhum
- Leve
- Moderado
- Severo

Sentiu a visão turva/embaciada? \*

- Nenhum
- Leve
- Moderado
- Severo

Sentiu tonturas com os olhos abertos? \*

- Nenhum
- Leve
- Moderado
- Severo



Sentiu tonturas com os olhos fechados? \*

- Nenhum
- Leve
- Moderado
- Severo

Sentiu vertigens? \*

- Nenhum
- Leve
- Moderado
- Severo

Sentiu vontade de arrotar? \*

- Nenhum
- Leve
- Moderado
- Severo



Sentiu sonolência? \*

- Nenhum
- Leve
- Moderado
- Severo

Sentiu alucinações? \*

- Nenhum
- Leve
- Moderado
- Severo

Outro

A sua resposta

**Submeter**

Nunca envie palavras-passe através dos Google Forms.

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pela Google. [Denunciar abuso](#) - [Termos de Utilização](#) - [Política de privacidade](#)

Google Formulários



## Task Questionnaire - Part 1

Click on each scale at the point that best indicates your experience of the task

### Mental Demand



How much mental and perceptual activity was required (e.g. thinking, deciding, calculating, remembering, looking, searching, etc)? Was the task easy or demanding, simple or complex, exacting or forgiving?

### Physical Demand



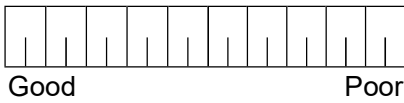
How much physical activity was required (e.g. pushing, pulling, turning, controlling, activating, etc)? Was the task easy or demanding, slow or brisk, slack or strenuous, restful or laborious?

### Temporal Demand



How much time pressure did you feel due to the rate of pace at which the tasks or task elements occurred? Was the pace slow and leisurely or rapid and frantic?

### Performance



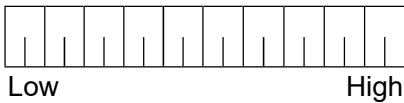
How successful do you think you were in accomplishing the goals of the task set by the experimenter (or yourself)? How satisfied were you with your performance in accomplishing these goals?

### Effort



How hard did you have to work (mentally and physically) to accomplish your level of performance?

### Frustration



How insecure, discouraged, irritated, stressed and annoyed versus secure, gratified, content, relaxed and complacent did you feel during the task?

Continue >>

# Escala de Usabilidade do Sistema

Investigadores – Artur Esteves, 5º Ano Mestrado em Engenharia Informática e de Computadores, Instituto Superior Técnico

Investigador Principal – Prof. Doutor Daniel Simões Lopes

Orientadores – Prof. Doutor Daniel Simões Lopes, Dr. Pedro Rodrigues

**\*Obrigatório**

Caro participante,

Estamos a conduzir um estudo que consiste na avaliação de um protótipo de um simulador háptico de realidade virtual na área da medicina dentária com foco na fase de instrumentação.

Este formulário tem como objetivo tentar obter um feedback minimamente fiável relativamente ao nível de usabilidade do sistema.

Toda a informação obtida, incluindo fotografias e áudio, será tratada de forma confidencial, não podendo ser revelada a qualquer pessoa, no entanto, pode ser usada para análise estatística, ou para fins científicos.

Comprometemo-nos a guardar os dados durante 5 anos. Após este período, toda a informação será eliminada. Caso deseje, poderá pedir a remoção dos dados em qualquer altura. A sua autorização para participar no programa é voluntária, podendo se assim o desejar, negar qualquer consentimento em qualquer momento do estudo.

Para participar nesta experiência, pedimos-lhe que preencha o consentimento presente neste questionário, concordando com as frases escritas abaixo.

Obrigado pela sua colaboração!

Eu penso que gostaria de usar este sistema com frequência. \*

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

Eu penso que o sistema é desnecessariamente complexo. \*

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente



Eu penso que o sistema é fácil de usar. \*

1 2 3 4 5

Discordo totalmente      Concordo totalmente

Eu penso que precisaria de ajuda de uma pessoa com conhecimentos técnicos para usar o sistema. \*

1 2 3 4 5

Discordo totalmente      Concordo totalmente

Eu penso que as diversas funções do sistema estão bem integradas. \*

1 2 3 4 5

Discordo totalmente      Concordo totalmente

Eu penso que o sistema apresentava muita inconsistência. \*

1 2 3 4 5

Discordo totalmente      Concordo totalmente

Eu imagino que as pessoas iriam aprender a usar o sistema rapidamente. \*

1 2 3 4 5

Discordo totalmente      Concordo totalmente



Eu penso que o sistema é complicado de usar. \*

1 2 3 4 5

Discordo totalmente      Concordo totalmente

Eu senti-me bastante confiante a usar o sistema. \*

1 2 3 4 5

Discordo totalmente      Concordo totalmente

Eu precisei de aprender várias coisas antes de conseguir usar o sistema. \*

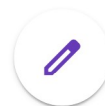
1 2 3 4 5

Discordo totalmente      Concordo totalmente

**Submeter**

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pela Google. [Denunciar abuso](#) - [Termos de Utilização](#) - [Política de privacidade](#)

Google Formulários





# Questionário Avaliação do Simulador

\*Obrigatório

Quão fácil foi compreender o exercício pedido? (1 - difícil, 6 - fácil) \*

- 1            2            3            4            5            6
- 

Achou que o exercício demorou muito tempo? Face ao que devia demorar com um dente real? \*

- Sim
- Não

Alguma vez se sentiu frustrado durante a sessão de treino? \*

- Sim
- Não

Interface Aural

O som constante da turbina tornou-se incomodativo ao longo do tempo? \*

- Sim
- Não



A mudança do som da turbina no instante em que existe contacto entre a turbina e uma camada dentária, está próximo da realidade? Esta alteração do som é útil? \*

Sim

Não

Pretendias ter um guia, a indicar todos os passos? E conseqüentemente a indicar como é que se devia realizar a instrumentação?) \*

Sim

Não

**Caneta**

O controlo da caneta háptica, foi natural durante a sessão? \*

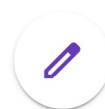
Sim

Não

Sentiu que existia alguma diferença/dessincronização entre a posição da caneta e a posição da mesma no simulador? \*

Sim

Não



Sentiu falta de um descanso para o dedo? \*

Sim

Não

Sentiu atrasos entre o movimento da turbina no aparelho e a deslocação da mesma no simulador? \*

Sim

Não

**Realidade Virtual**

Acha que o formato de realidade virtual, tornou a experiência mais imersiva? \*

Sim

Não

Alguma vez sentiu alguma restrição ao realizar movimentos com a cabeça? \*

Sim

Não



Acha que o uso dos óculos de realidade virtual o permitiu abstrair-se do mundo exterior e focar-se no exercício? Ou diria, que com ou sem óculos o nível de foco e distrações se mantinha semelhante? \*

Sim

Não

Sentiu-se perdido, com tonturas ou enjoos durante ou após o uso do simulador de realidade virtual? \*

Sim

Não

Alguma vez perdeu o foco durante o exercício? \*

Sim

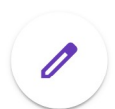
Não

**Simulador**

Achou o feedback apresentado útil? \*

Sim

Não



Na sua opinião, sente que o simulador poderia contribuir para um desenvolvimento mais rápido da destreza manual? Poderia levar-vos a cometer menos erros? \*

Sim

Não

Pretendia ter acesso a um simulador deste gênero durante as sessões de treino, para suplementar o treino com fantomas? \*

Sim

Não

Como descrevia a sua adaptacção ao simulador? \*

Boa

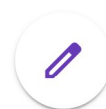
Tive algumas dificuldades

Difícil

Acha que a implementação do protótipo conseguiu representar os requisitos da fase de instrumentação? \*

Sim

Não



Os exercícios oferecidos pelo simulador são relevantes para o processo de aprendizagem de um aluno sobre a fase de instrumentação? \*

- Sim
- Não

Achou útil a possibilidade de poder substituir as diversas camadas do dente a instrumentar por uma camada translúcida? \*

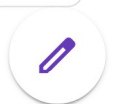
- Sim
- Não
- Nem reparei que existia essa possibilidade

Achou útil a possibilidade de poder esconder as diversas camadas do dente a instrumentar? \*

- Sim
- Não
- Nem reparei que existia essa possibilidade

Na sua opinião acha que os simuladores que usam estas tecnologias e têm objectivos semelhantes, são uma boa adição ao leque de recursos a que um aluno tem acesso durante a fase de aprendizagem? \*

- Sim
- Não
- Talvez



Acha que um simulador deste gênero poderia contribuir para uma melhor preparação dos alunos para o ambiente clínico? \*

- Sim
- Não
- Talvez

No geral, ficou satisfeito com a experiência que o simulador foi capaz de fornecer? \*

- Sim
- Não

**Submeter**

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pela Google. [Denunciar abuso](#) - [Termos de Utilização](#) - [Política de privacidade](#)

Google Formulários



# Perguntas Base da Entrevista

Perguntas abertas para realizar em entrevista após o utilizador realizar o primeiro exercício com o simulador.

- 1. Surgiu alguma dúvida sobre o exercício apresentado que não conseguiu desvendar durante a simulação? Se sim, que tipo de dúvida?
- 2. Foi difícil realizar o exercício? Se sim, qual a maior dificuldade enfrentada durante a sessão de treino?
- 3. Sentiu algum desconforto devido ao som emitido pela turbina?
- 4. Qual a sua opinião sobre a interface aural, entenda-se todo o feedback auditivo? Provou-se útil ou nem por isso?
- 5. Conseguiu sentir a diferença entre o feedback háptico das diversas camadas dentárias (esmalte, dentina, polpa e gengiva)?
- 6. Na sua opinião o feedback háptico das diversas camadas encontra-se próximo da realidade? Se não, qual ou quais camadas estão longe da realidade? Indique as camadas identificadas que deveriam apresentar uma maior ou menor resistência.
- 7. Acha interessante/essencial o feedback háptico fornecido pela caneta ou tem pouca relevância (estamos a incluir a vibração fornecida pela caneta)?
- 8. Sentiu falta de algum outro apoio durante a sessão de treino? Se sim, qual?
- 9. Durante a sessão de treino houve momentos em que foi obrigado a adotar uma postura ou realizar movimentos incorretos, não recomendados? Se sim, porquê?
- 10. Em alguma parte da simulação, esta não pareceu natural? Se sim, quando? Que tipo de situação aconteceu?
- 11. Alguma vez perdeu o foco durante o treino? Se sim, sabe dizer porquê?
- 12. Achou algum feedback apresentado distrativo e pouco informativo? Se sim, que tipo de feedback?
- 13. Que outro tipo de feedback, na sua opinião, seria relevante?
  - Sentiu falta de algum outro tipo de feedback? Seja visual, auditivo, háptico.
- 14. Qual a sua opinião sobre a necessidade de usar um comando para selecionar diversas opções? O manuseamento do comando atrapalhou a fase de instrumentação? Foi desconfortável, pouco natural e/ou preferia ter a mão livre?



- 15. Com esta implementação do simulador, conseguem descrever pontos positivos e limitações face ao treino com recurso aos frascos?

- 16. Sendo que os frascos, representam a grande totalidade do treino de instrumentação, na sua opinião, o simulador apresentado podia servir como complemento às sessões de treino com frascos? Porquê?

- 17. Quais as diferenças mais relevantes que notou após um primeiro uso do simulador? Pode fazer a comparação com o ambiente de clínica como uma comparação com o ambiente de treino.

- 18. O efeito de deformação com ambas as brocas suportadas corresponderam à sua expectativa? Se não, o que estava à espera?

- 19. Houve alguma acção que pretendia realizar no simulador, mas teve dificuldades? Se sim, qual? Qual era o resultado?

- 20. Que sugestões pretende apresentar, para melhorar o desenvolvimento deste simulador?

- 21. Preferiste usar o modelo 3D em formato de turbina ou a ponta da caneta que faz parte do modelo da caneta háptica? Sentiste algum conforto em usar o modelo 3D da turbina? Na tua opinião, a diferença de formatos, de peso e apoios, foi significativa ou é indiferente usar um ou outro?

- 22. Acha possível a adoção deste tipo de tecnologia no ensino da medicina dentária? a - Se sim, como acha que seria incorporado? Porquê? b- Se não, quais as barreiras que prevê? Porquê?

- 23. Como foi a sua adaptação ao simulador?

- 24. Qual a sua opinião relativamente à grande amplitude de movimentos que podem ser realizados no simulador em oposição aos movimentos de baixa amplitude num dente no mundo real?

[DOCENTES]

- 25. Recomendaria aos seus alunos o uso deste formato de treino?

- 26. Recomendaria que os seus alunos experimentassem este protótipo?

[ALUNOS]

- 27. Recomendaria aos seus professores a adopção deste tipo de simuladores na fase de treino em ambiente clínico?

