



Universidade de Aveiro Departamento de Comunicação e Arte

Ano 2015

**SÉRGIO BRANDÃO
DIAS MARQUES**

**SISTEMA DE REALIDADE AUMENTADA NO
PROCEDIMENTO CIRÚRGICO DE REMOÇÃO DE
PEDRAS NOS RINS**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Comunicação Multimédia, realizada sob a orientação científica do Doutor Mário Jorge Rodrigues Martins Vairinhos, Professor Auxiliar do Departamento de Comunicação e Arte da Universidade de Aveiro

À minha família, namorada e amigos por todo o apoio e incentivo durante este meu percurso.

o júri

presidente

Professor Doutor Luís Francisco Mendes Gabriel Pedro
Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro

Vogal - Arguente Principal

Professor Doutor Nelson Troca Zagalo
Professor Auxiliar da Universidade do Minho

Vogal - Orientador

Professor Doutor Mário Jorge Rodrigues Martins Vairinhos
Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Agradeço a todos aqueles que, de uma forma ou de outra, se envolveram e ajudaram na concretização do presente projeto.

Uma palavra de apreço especial ao meu orientador Doutor Mário Vairinhos e ao Sérgio Eliseu, pela oportunidade e pelo à vontade com que me integraram na equipa.

Tal como a dedicatória, agradeço à minha família, à minha namorada e aos meus amigos. Aos que já o eram e aos que ganhei durante este percurso.

A todos, o meu sincero obrigado pelas partilhas, críticas e conselhos. Obrigado por ouvirem os meus desabafos.

Em especial à minha mãe, pois sem ela nada disto seria possível.

palavras-chave

realidade aumentada, laparoscopia, design de interação, tecnologia na medicina, remoção de pedras renais.

resumo

A inovação tecnológica e as facilidades que gera tem tido um impacto crescente em diversas áreas, inclusivamente na medicina. A rápida evolução por parte de algumas tecnologias, como é o caso da Realidade Aumentada (RA), criam excelentes oportunidades, nomeadamente para intervenções cirúrgicas laparoscópicas, que apresentam especialmente problemas ao nível da exposição do doente a radiação.

O presente documento detalha todo o processo de investigação e desenvolvimento realizado com a pretensão de criar um sistema de navegação por RA que auxilie o procedimento cirúrgico laparoscópico de remoção de pedras nos rins. Com este objetivo em perspetiva, e numa parceria com a empresa ECmedica LTD, foram desenvolvidos quatro protótipos funcionais. Com o intuito de compreender as melhores práticas de sistemas de input, interface e sistema de registo a aplicar, estes integraram aspetos inovadores tais como a utilização de uma sonda ultra-som, como substituta do raioX, e um registo feito através de sensores magnéticos.

Apoiados numa metodologia de design centrado no utilizador e em instrumentos de análise como entrevistas e observação natural, os protótipos foram testados, obtendo respostas esclarecedoras relativamente aos objetivos dos protótipos. Foi observado que a RA é vista pelos médicos como uma solução com potencial, com as soluções apresentadas ao nível de inputs, interface e registo a serem bem recebidas. A projeção bidimensional oferecida pela imagem ultra-som foi encarada como insuficiente, sendo sugerida a sua substituição por um aumento tridimensional capaz de facilitar a correta inserção da agulha.

keywords

augmented reality, laparoscopy, interaction design, technology in medicine, kidney stones removal.

abstract

Technological innovation and the facilities that it generates has had an increasing impact in many areas, including medicine. The fast evolution of some technologies, as in the case of Augmented Reality (AR), create excellent opportunities, particularly for laparoscopic surgery, which especially have problems with level of radiation exposure by the patient.

This document details the entire process of research and development carried out with the intention to create a AR navigation system that helps the laparoscopic surgical procedure on kidney stones removal. With this goal in perspective, and in partnership with the company ECmedica LTD, were developed four functional prototypes. In order to understand the best practices to be applied in input systems, interfaces and registration system, these integrated innovative aspects such as the use of an ultrasound probe, as a substitute for Xray, and registration made through magnetic sensors.

Supported by a user-centered-design methodology and using data-gathering technics such as interviews and natural observation, the prototypes were tested, obtaining enlightening answers regarding the prototypes goals. It was observed that AR is seen by physicians as a solution with potential, where the solutions presented in terms of inputs, interface and register where also well received. The bidimensional projection offered by the ultrasound image was seen as insufficient, and was suggested to replace it with a three-dimensional augment able to facilitate the correct insertion of the needle.

Índice

Índice de figuras	4
Índice de tabelas	6
Acrónimos	7
Introdução.....	9
Apresentação do problema	10
Contributo da Realidade Aumentada para a navegação em ambientes e procedimentos Cirúrgicos	11
Objetivos da investigação.....	14
Estrutura do documento.....	15
1. Enquadramento teórico	17
1.1 Mundos Virtuais	18
1.1.1 Realidade Virtual	24
1.1.2 Realidade Aumentada	25
1.1.3 Técnicas de registration.....	26
1.1.4 Sistemas de Visualização	28
1.2 Computação física.....	30
1.3 Computação ubíqua.....	32
1.4 Interfaces tangíveis.....	33
1.4.1 Modelo conceptual TUI	35
1.4.2 Propriedades	35
1.5 Computação vestível.....	36
1.6 Domínios de aplicação da tecnologia	38

2. Metodologia	51
2.1 Design centrado no utilizador	52
2.2 Design da experiência	54
2.3 Técnicas de investigação/Recolha de dados e análise de requisitos.....	58
3. Caraterização do ambiente de interação.....	63
3.1 Descrição do ambiente do procedimento cirúrgico	64
3.2 Laparoscopia.....	65
3.3 Descrição da equipa.....	70
4. Protótipo exploratório	73
4.1 Desenvolvimento do Protótipo exploratório	74
4.1.1 Objetivos	75
4.1.2 Arquitetura do sistema	75
4.1.3 Descrição de desenvolvimento	81
4.1.4 Resultados.....	83
5. Sistema de input.....	87
5.1 Desenvolvimento do sistema de input	88
5.1.1 Objetivos	88
5.1.2 Arquitetura do sistema	90
5.1.3 Descrição de desenvolvimento	94
5.1.4 Resultados.....	102
6. Sistema de registo	107
6.1 Desenvolvimento de protótipo de prova conceptual.....	109
6.1.1 Objetivos	110
6.1.2 Arquitetura do sistema	110
6.1.3 Descrição do desenvolvimento	112
6.1.4 Resultados.....	114
7. Protótipo funcional.....	117
7.1 Desenvolvimento do protótipo funcional.....	117
7.1.1 Objetivos	118
7.1.2 Arquitetura do sistema	120
7.1.3 Descrição de desenvolvimento	123

8. Conclusão	129
8.1 Resultados do protótipo final.....	129
8.2 Limitações do estudo	132
8.3 Perspectivas de trabalho futuro	133
8.4 Considerações finais	135
Referências bibliográficas	137
Anexo.....	141

Índice de figuras

Figura 1 – Virtuality Continuum - Milgrami e Kishino (1994)	19
Figura 2 - Imagens real Vs Imagens digitais – Milgrami e Kishino (1994).....	20
Figura 3 – Grau de conhecimento do mundo.....	22
Figura 4 – Fidelidade de reprodução.....	23
Figura 5 – Extensão da presença de metáfora	24
Figura 6 – Mudança do paradigma de interação (GUI para TUI) - Ishii e Ullmer (1997)	34
Figura 7 – Locais da biopsia e respetivas imagens endoscópicas com fluorescência.....	39
Figura 8 – Câmara e suporte utilizados em diferentes pontos durante a cirurgia	42
Figura 9 – Diferentes vistas renderizadas disponíveis.....	43
Figura 10 – Esquema visual da architectua do sistema	45
Figura 11 – Componentes de um sistema pronto a utilizar	47
Figura 12 – Retrato de cirurgia – Introdução do cateter.....	67
Figura 13 – Retrato de cirurgia – Rotação e perfuração do paciente com agulha	68
Figura 14 – Retrato de cirurgia – Perfuração do paciente com agulha	69
Figura 15 – Retrato de cirurgia – Reposicionamento do RaioX.....	69
Figura 16 – Retrato de cirurgia – Médicos observam imagem raioX	70
Figura 17 – Diagrama de montagem do protótipo exploratório	76
Figura 18 – Interface Moverio BT-100.....	78
Figura 19 – Óculos de realidade aumentada Meta1	79
Figura 20 – Esquema de montagem básica dos óculos RA.....	80
Figura 21 - Diagrama do protótipo de sistemas de input.....	90
Figura 22 – Microcontrolador Arduino Uno R3	91

Figura 23 – Módulo de pedais utilizado no protótipo.....	92
Figura 24 – Diagrama de software do protótipo de sistemas de input.....	96
Figura 25 – Mapeamento do teclado para teste de manipulações.....	98
Figura 26 – Primeiro protótipo de interface física	99
Figura 27 – Vista de uma página de download na <i>Asset Store</i>	101
Figura 28 – Diagrama representativo do protótipo para prova conceptual	111
Figura 29 – Representação digital das manipulações físicas ao braço mecânico	112
Figura 30 – Representação de articulação do braço mecânico.....	113
Figura 31 – Protótipo de prova conceptual – Fase de testes	114
Figura 32 – Foto-montagem represenativa da vista aumentada	118
Figura 33 – Diagrama representativo do protótipo final	120
Figura 34 – Base do controlador magnético	121
Figura 35 – Manípulo do controlador magnético	122
Figura 36 – Interface física do manípulo do controlador magnético	124
Figura 37 – Vista do software da sonda ultra-som.....	125
Figura 38 – Imagem do sistema com textura ultra-som aplicada	126
Figura 39 – Vista tridimensional gerada pelo sistema completo	127
Figura 40 – Anexação de sensores magnéticos à sonda ultra-som e óculos.....	128
Figura 41 – Foto-montagem de projeção tridimensional do rim no interior do paciente	134

Índice de tabelas

Tabela 1 - Guião de entrevista semi-estruturada para apresentação do protótipo exploratório.....	74
Tabela 2 - Guião de entrevista semi-estrutura realizada no decorrer dos testes do sistema de input	89
Tabela 3 - Interpretação de resultados dos testes aos sistemas de input	103
Tabela 4 - Síntese comparativa entre sistemas de registo magnético e visão computacional.....	115
Tabela 5 - Sintetização dos objetivos em teste na apresentação do protótipo final	119
Tabela 6 - Síntese de resultados do protótipo final	130

Acrónimos

DIY – *Do It Yourself*

EPM – *Extensão da metáfora de presença*

GPS – *Global Positioning System*

GUI – *Graphical User Interface*

HCI – *Human Computer Interaction*

HMD – *Head Mounted Display*

HUD – *Heads-Up Display*

IR – *Infinitive Reality*

MCRit – *Model Control-Representation*

MR – *Mixed Reality*

MVC – *Model View Control*

OOP – *Object-Oriented-Programming*

PCNL – *Percutaneous Nephrolithotomy*

RA – *Realidade aumentada*

RFID – *Radio-Frequency IDentification*

RV – *Realidade Virtual*

SLAM – *Simultaneous Localization and Tapping*

TUI – *Tangible User Interface*

VRD – *Virtual Retina Display*

WIMP – *Window, Icon, Menu, Pointer*

Introdução

A inovação tecnológica pode gerar facilidades em diversas áreas, nas quais a sua utilização ainda não se encontra aproveitada no seu máximo potencial. No que diz respeito à medicina e mais especificamente aos procedimentos cirúrgicos, existem novos paradigmas a estudar e é nessas ideias que o presente projeto de investigação e desenvolvimento se enquadra.

Surgido como resultado de uma parceria entre um grupo de investigadores da Universidade de Aveiro e a empresa ECmedica LTD, o presente documento tem como objetivo descrever todo o processo de investigação e desenvolvimento levado a cabo para a criação de um sistema de navegação por realidade aumentada para auxílio na remoção de pedra renais.

Todo o documento segue uma linha de raciocínio estruturada e fundamentada, onde as opções tomadas são expostas de forma clara e devidamente sustentadas por uma revisão bibliográfica extensa e multidisciplinar que precede toda a fase de desenvolvimento.

Apresentação do problema

Para a justificação do presente estudo podem ser indicados vários fatores, levantando-se argumentos quer em prol dos clínicos, quer em prol dos paciente. Todos eles surgem de algumas apreciações e percepção recolhida em literatura sobre os atuais procedimentos tomados em cirurgias Laparoscópicas renais.

As pedras renais são uma doença dolorosa e de incidência crescente e generalizada, sem que lhe seja identificado qualquer fator seletivo como a idade, o sexo ou a raça. Diariamente procedimentos cirúrgicos praticamente universais são aplicados a doentes para a resolução deste problema, podendo estes trazer-lhes efeitos secundários negativos. Atualmente, o sistema de navegação que guia a introdução da agulha e de outros instrumentos cirúrgicos usados em procedimentos não evasivos baseiam-se em radiologia. Os pacientes são assim expostos a níveis de radiação que, não sendo iminentemente perigosos, são altamente indesejáveis.

A particularidade deste tipo de intervenção fazer recurso constante a raio-X obrigada o doente a estar exposto à radiação, para que a imagem recolhida por este método possa ser utilizada para guiar o medico na ação que executa. Contudo, e apesar de auxiliar o desempenho do médico, este tipo de procedimento revela-se extremamente prejudicial para a saúde do paciente. Estes valores de radiação são variáveis de cirurgia para cirurgia, podendo o paciente sair mais ou menos prejudicado por fatores não justificáveis, tais como a necessidade de acelerar o processo ou dificuldades sentidas por clínicos menos experientes. Em caso de haver uma tentativa de baixar os níveis de radiação, isto pode igualmente representar contrapartidas negativas para o doente, devido à redução de feedback visual da ação que o médico tem disponível. O recurso à radiologia apresenta igualmente uma segunda ordem de desvantagens, estando estas relacionadas com o facto de para cada sessão ser necessária a coordenação logística de duas equipas médicas. Além da equipa de anestesia, encontram-se também presentes a equipa de radiologia e a equipa coordenada pelo urologista, o que complexifica a logística associada ao procedimento cirúrgico, tornando-a mais dispendiosa e aumentando o seu tempo de duração.

Para efetuar intervenções desta natureza é requerido ao médico um vasto conhecimento a nível anatómico que nem sempre está presente em profissionais mais novos, o que coloca estes últimos de parte ou, no pior dos casos, pode prejudicar gravemente o paciente. Sendo este um procedimento que se baseia na criação de pequenas incisões e inserção de instrumentos pelas mesmas, existe a possibilidade de se provocarem lesões em estruturas e tecidos adjacentes por falta de experiência ou do referido feedback visual. Outros pontos como a necessidade de múltiplas reinserções e redireccionamentos da agulha são também pontos negativos, podendo estes resultar inclusivamente no aumento de marcas corporais deixadas no paciente.

Estas dificuldades identificadas nos médicos aquando da localização dos pontos a atuar, resultam em desgaste físico e psicológico desnecessário, não esquecendo outros fatores a ter em conta como a eficácia e produtividade numa área tão crítica como é a da saúde. O processo, cumprindo os procedimentos atuais, demonstra-se mais trabalhoso e meticuloso do que na realidade poderia ser, com a agravante de vários aspetos do tratamento acabarem por ser prejudiciais. O recurso à realidade aumentada, fazendo uso de imagem ultra-som em tempo real, apresenta um conjunto de desafios e dificuldades de natureza tecnológica e conceptual, mas em contrapartida abre um novo campo de oportunidades.

Por tudo isto, e em suma, existe a plena convicção de que, de certa forma, se podem moldar os procedimentos atuais neste tipo de técnicas, trazendo-lhe fluidez e objetividade, com estes acrescentos a serem positivos para ambas as partes interessadas. Julgando conseguir produzir um produto tecnológico capaz de solucionar estas questões, o presente projeto surge, portanto, movido por preocupações legítimas e reais.

Contributo da Realidade Aumentada para a navegação em ambientes e procedimentos Cirúrgicos

A integração de sistemas de realidade aumentada em ambientes cirúrgicos, especialmente no que respeita à navegação, salienta as características de adoção ímpares

deste tipo de abordagem. As possibilidades trazidas pela união entre inovação tecnológica e metodologias enraizadas permitem renovar e até criar praticamente uma infinidade de processos.

Já existindo técnicas minimamente evasivas para o paciente, tal como a Laparoscopia, uma renovação tecnológica pode trazer ainda mais avanços, permitindo que a informação possa ser vista com antecedência, antes de se atuar sobre uma determinada área. Apesar de não dispensar o uso de outros dispositivos auxiliares ou exames prévios, a fim de recolher informação sobre o interior do paciente, a integração de sistemas de realidade aumentada consegue eliminar vários aspetos negativos. Entre estes, a dependência de procedimentos algo prejudiciais para o doente e as dificuldades criadas ao médico pela falta de acesso visual sobre o desenvolvimento das tarefas.

A libertação, por exemplo, de monitores externos - extremamente comuns em vários procedimentos - representa um contributo especialmente significativo. Não se trata apenas da libertação do espaço físico, mas sim de novas possibilidades de visualização e navegação interativas disponibilizadas ao médico. Ao invés de acompanhar a imagem num monitor lateral, enquanto atua sobre o paciente, passa a ser-lhe possível acompanhá-la em tempo real no local exato, em cima do corpo. Desta forma, deixam também de existir problemas de alinhamento entre a imagem externa e a verdadeira área que esta representa no corpo do paciente, sendo esta uma das fragilidades identificadas nas abordagens atuais.

Tratando-se de um sistema de visualização e navegação digital, as possibilidades de visualização e personalização que podem ser aplicadas são praticamente inexcedíveis, independentemente de se tratarem de aumentos bi ou tridimensionais, fusão de realidades ou simples meta-informação. A título de exemplo, a utilização de uma sobreposição digital tridimensional pode representar para o clínico total controlo sobre o que este quer ver. Parâmetros como a cor, textura, transparência e perspetiva de um tecido ou estrutura passam a poder ser visualizados da maneira mais conveniente. Estes podem ser personalizados de acordo com as preferências do médico para determinada intervenção ou até em alterações durante um mesmo procedimento. Não esquecendo que existem clínicos com métodos de trabalho distintos e formas de estar e interagir

diferentes, um sistema onde os componentes possam ser facilmente organizados e personalizados pode trazer uma versatilidade importante para o meio. Por outro ponto de vista, a adoção deste tipo de tecnologia pode também desempenhar um papel interessante como fornecedor constante de recursos, apresentando informações relevantes para a ação. Um sistema de RA permite apresentar ao médico, em tempo real, não apenas modelos 3D referentes a órgãos e a outros elementos reais do corpo, mas também apresentar meta-informação relativa ao estado das funções vitais ou de qualquer outra fonte “externa”. Ao contrário do que acontece com outros sistemas de visualização baseados em ecrãs convencionais, o sistema de RA possui a grande vantagem de manter todos os elementos virtuais no campo de visão. Este é um facto de maior importância visto permitir ao médico não desviar a sua atenção e olhar do espaço de trabalho para monitores externos. A separação de elementos virtuais do campo visual do médico coloca também dificuldades ao nível da interação, nomeadamente ao criar problemas ao nível do mapeamento (*mapping*) entre a ação motora que o médico realiza no espaço real e a representação dessa ação no espaço de representação interposta pelos monitores.

Ainda no capítulo da facilidade de visualização, a liberdade de observação mais direta permite outro tipo de perceção ao médico, pela abordagem mais natural e humana. Passa a ser possível fornecer perspetivas mais amplas do que nos métodos tradicionais que contam com uma vista redutora e demasiado direcionada, o que certamente acrescenta benefícios na perceção de quais os melhores caminhos fruto de uma contextualização constante.

Relativamente ao doente, a utilização deste tipo de tecnologia também se revela como uma mais valia. A possibilidade de uma navegação facilitada para o clínico retira, logo à partida, a sujeição do paciente a métodos de imagiologia pouco abonatórios para a sua saúde. Pegando no exemplo mencionado no capítulo anterior, a utilização constante de raioX é necessária para verificar a posição da agulha, procedimento que com o uso de realidade aumentada pode ser substituído. Existindo mais casos com este tipo de aspetos negativos, com a introdução desta tecnologia pode vir a eliminar ou pelo menos reduzir o uso destas abordagens nocivas. Por vezes os modelos utilizados em sistemas de realidade

aumentada também surgem deste tipo de abordagens, criados numa fase prévia à intervenção. Contudo, a criação de um único modelo inicial reduz drasticamente a carga radioativa aplicada, podendo igualmente ser encontradas outras soluções. Por exemplo, uma recolha de imagens instantâneas, através de ultra-som, podem-se revelar uma excelente alternativa.

Por fim, outros fatores de destaque relacionam-se com o também já referido conhecimento anatómico requerido e com a fluidez e objetividade oferecida. Havendo um sistema de navegação mais elucidativo, personalizável e dinâmico, a tarefa torna-se declaradamente mais facilitada para os clínicos em geral e até instrutiva para clínicos menos experientes.

Objetivos da investigação

Enquanto objetivos principais do projeto podem ser apontados, de forma generalizada, a especificação e desenvolvimento de um protótipo funcional que funcione como prova de conceito das funcionalidades e vantagens inerentes aos sistema de realidade aumentada. Através do sistema a desenvolver é pretendido que seja possível testar uma nova abordagem processual na cirurgia de remoção de pedras renais.

Tem-se nestes objetivos bases implícitas para que se possa melhorar as práticas correntes neste tipo de intervenção, provocando melhorias significativas para a atividade médica e também para o paciente. Pretende-se perceber qual a melhor forma de criar um produto que seja direcionado e apropriado, procedendo-se assim à investigação, especificação de requisitos, desenvolvimento e avaliação das soluções protótipadas.

As maiores ambições do projeto passam por o culminar deste na produção de um protótipo sólido, inovador e que apresente um modelo de interação cómodo e fluído, que permita as mesmas intervenções, mas substituindo metodologias menos desejáveis por novas soluções mais apropriadas.

Este desenvolvimento deve ser baseado numa investigação também ela robusta e fundamentada, o que pressupõem uma grande objetividade na pesquisa de questões

nucleares para a interação, em detrimento do desenvolvimento de funcionalidades exuberantes. Sendo este o início de um projeto com longevidade, interessa cumprir de forma exímia e criteriosa todas estas fases – investigação, especificação, prototipagem e avaliação -, perseguindo o objetivo de criar os alicerces necessários para que no seu seguimento possa surgir um produto que acrescente real valor à atividade.

Estrutura do documento

O presente documento apresenta uma estrutura dividida por 9 capítulos distintos, com cada um deles a ser sub-dividido de acordo com as temáticas que envolve e a importância das mesmas.

No primeiro capítulo é possível encontrar a revisão da literatura levada a cabo na investigação e utilizada para sustentar muito do trabalho que é descrito no documento. Neste capítulo podem ser encontradas secções – leia-se, subcapítulos – com todas as temáticas fundamentais para se proceder ao desenvolvimento de um produto como o proposto, igualmente como uma análise ao estado da arte de algumas tecnologias semelhantes já desenvolvidas por outros grupos de investigação.

Seguindo na mesma linha do capítulo anterior, o segundo capítulo especifica quais as metodologias elegidas para a realização do projeto, justificando as suas escolhas também com recurso a alguma bibliografia. Este é um capítulo influente em toda a investigação, visto que a abordagem escolhida é fator decisivo no desenvolvimento de projetos deste tipo. Assim sendo, este capítulo e os respetivos sub-capítulos sustentam também as várias fases de realização destes projeto de investigação e desenvolvimento.

No terceiro capítulo é onde se passa de facto para uma componente de desenvolvimento prático do projeto. Apesar de ainda apresentar algumas referências bibliográficas é neste capítulo que começa a ser apresentado algum do trabalho desenvolvido. Servindo para caracterizar o ambiente onde o produto será inserido, é nele que são feitas considerações às práticas específicas da Laparoscopia, expostos os dados recolhidos na observação presencial a uma destas cirurgias e também detalhada pela primeira vez a constituição da equipa de investigação.

No capítulo seguinte, o quarto, é apresentada a primeira recolha de dados através da entrevista e onde é exposto o primeiro protótipo exploratório apresentado. Tal como os capítulos seguintes onde são apresentados protótipos, este conta com uma apreciação geral de todo o trabalho realizado e os seus fundamentos, ao mesmo tempo que apresenta individualmente áreas como os seus objetivos, a arquitetura do sistema desenvolvido, a descrição da fase de desenvolvimento e uma análise aos resultados.

Chegando aos capítulos de puro desenvolvimento, o capítulo cinco aborda todo o processo levado a cabo na conceptualização, materialização e seleção dos sistemas de input. É aqui que são detalhadas as escolhas para esta fase do projeto, tal como todo o processo de desenvolvimento, e as razões para tais escolhas e/ou procedimentos.

O capítulo sexto é onde é revelado todo o trabalho levado a cabo para desenvolver um bom modelo de registo para o sistema de navegação. Aqui é explicada a importância de uma escolha adequada da abordagem a tomar, passando de seguida à respetiva fase de prototipagem. Tal como os restantes, o protótipo realizado para o efeito é detalhadamente justificado e explicado, contando igualmente com uma análise dos resultados obtidos após os testes com utilizadores.

No sétimo capítulo repete-se em parte o procedimento apresentado no capítulo sexto, ao ser apresentado em detalhe o protótipo final do projeto. Este conta com uma estrutura igual aos protótipos já apresentados, apresentando os seus fundamentos, objetivos, arquitetura e desenvolvimento.

Relativamente aos resultados do protótipo final, é-lhes reservado o capítulo oito, no qual se encontram também expostas as limitações encontradas no decorrer da investigação e do desenvolvimento, os trabalhos futuros que se consideram os acertados para o enriquecimento do presente projeto e terminando com uma breve reflexão e considerações finais.

1. Enquadramento teórico

Neste capítulo irão ser analisadas as abordagens teóricas de tecnologias que, dentro do design de interação, privilegiam uma abordagem mais próxima do corpo, mais contextual e menos baseada nos sistemas convencionais como o computador e os seus periféricos. Nos últimos anos deu-se uma grande uma grande proliferação deste tipo de paradigmas, muito por força destes permitirem uma utilização em diferentes contextos, o que os torna um caso de estudo interessante. Assim sendo, o capítulo irá ser sub-dividido de forma a agrupar ideias semelhantes e organizado de forma a que o encadeamento de conceitos seja feito de forma correta.

Em primeiro lugar será descrito o ponto sobre os mundo virtuais, onde se incluem a realidade aumentada, a realidade virtual e a indispensável definição da taxonomia. De seguida, serão descritos os conceitos e fundamentos dos paradigmas de computação física e computação Ubíqua de forma a que a introdução ao ponto que os procede, relativo à interação tangível, esteja melhor sustentada. Neste ponto é apresentado o modelo TUI e as suas propriedades específicas, passando depois para o último dos paradigmas, *Wearable computing*.

Por fim, é reservado um espaço para o que pode ser considerado o “estado da arte da tecnologia”. Aqui são apresentados alguns exemplos de implementação semelhantes ao presente projeto que fazem uso das algumas das tecnologias e paradigmas introduzidos.

1.1 Mundos Virtuais

Mundos virtuais são ambientes aumentados ou criados integralmente por computador, com o intuito de permitir aos utilizadores “entrar” e interagir neles mantendo, pelo menos, as características físicas do real.

Estes mundos podem variar de acordo com vários fatores que acabam por os dividir em categorias específicas. Dependendo de fatores/propriedades tais como o nível de representação do real, o grau de imersão ou a mediação da tecnologia (a forma como somos transportados para o mundo), é possível classificar o sistema quanto à natureza da sua tecnologia (Milgram e Kishino, 1994, p. 2). Nesse sentido, e tal como em todas as disciplinas, a taxonomia é um ponto fundamental a definir para que seja possível haver um entendimento para essa correta categorização de sistemas ou partes que o compõem.

No caso específico que diz respeito aos mundos virtuais, a extrema complexidade e diversidade de sistemas imergentes tornaram a definição de uma taxonomia num ponto chave até para a evolução das próprias tecnologias. Tornou-se importante diferenciar sistemas quanto à sua base gráfica inicial (vídeo ou gráficos digitais), se existe ou não mediação do real, grau de imersão e escalas de mapeamento do display, entre outros aspetos.

Com base nesta necessidade, e apoiando-se em propostas prévias de investigadores como Sheridan, Zeltzer, Naimark e Robinett, Milgram e Kishino (1994) propõem um sistema de classificação, hoje universalmente utilizado.

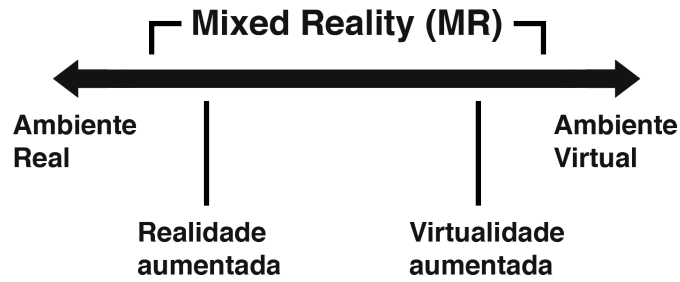


Figura 1 – Virtuality Continuum - Milgram e Kishino (1994)

Milgram e Kishino defendem a existência de uma “continuidade virtual” em formato de espectro - ao qual chamam de *Virtuality Continuum* - onde o mundo real se situa numa das extremidades e o ambiente totalmente virtual na outra, com a área entre si a ser denominada de *Mixed Reality* (MR) ou Híbrida (Figura1)¹.

Esta linha definida pelos autores organiza as diferentes tecnologias de simulação tendo em conta a sua semelhança com real, com o próprio – sem mediação - a surgir no extremo esquerdo, enquanto a realidade virtual – mediada e totalmente imersiva - se encontra no extremo oposto.

Porem esta descrição do fenómeno das realidades mistas permanece um pouco ambígua, não sendo explícita, por exemplo, quanto às especificidades da realidade aumentada (RA). Isto acontece, pois o critério acaba por se revelar demasiado largo, o que torna esta organização de tecnologias algo insuficiente.

Com isto surgem então outros aspetos relevantes no que à classificação diz respeito, como é o caso dos *display*. Este é um aspeto crítico, pois mediante o *display* utilizado outros eixos de classificação serão alterados, nomeadamente os relativos à mediação da tecnologia e à fidelidade de reprodução, afetando igualmente o próprio desempenho do sistema.

Então, dentro deste conceito de *Mixed Reality* e ainda segundo os mesmos autores, são de destacar seis classes displays distintas:

¹ Adaptado de: Milgram, P., & Kishino, F. (1994). A taxonomy of Mixed Reality visual displays. *IEICE Transactions on Information Systems*, E77-D(12). Acedido em http://etclab.mie.utoronto.ca/people/paul_dir/IEICE94/ieice.html

- Monitor-based
- Video Displays
- Head-Mounted-Display (Opticos)
- Head-Mounted-Display (Video)
- Ambientes de display completamente gráficos
- Ambientes completamente gráficos mais parcialmente imersivos

(Milgram e Kishino, 1994, p. 3)

No entanto, e apesar das diferenças entre as classes listadas parecerem claras, uma mudança de perspectiva sobre os conceitos ou funcionalidades do projeto pode facilmente alterar a situação. Dependendo de interesses particulares, classes de displays diferentes podem, por exemplo, ser agrupadas (Milgram e Kishino, 1994, p. 5).

Outro fator essencial a ter em conta na classificação de sistemas é a distinção entre o que é considerado real e o que é considerado virtual. Esta dúvida pode à primeira vista parecer banal, mas a envolvimento de parâmetros como a fidelidade de reprodução, a digitalização e a própria natureza de objetos ou cenas traz novos desafios à classificação. Desta forma, e como representado na figura 2², Milgram e Kishino definem então três bases para a classificação da realidade destes sistemas.

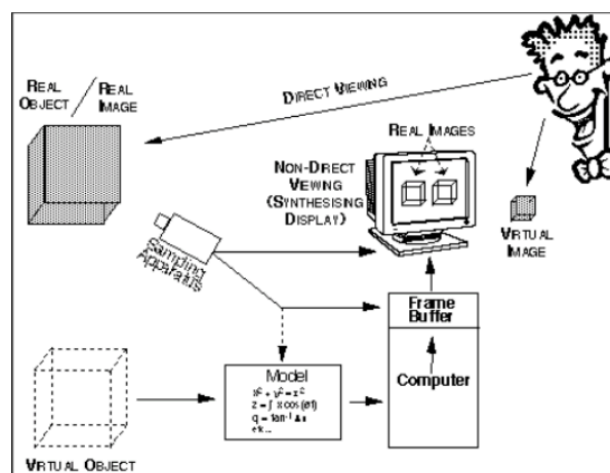


Figura 2 - Imagens real Vs Imagens digitais – Milgram e Kishino (1994)

² Retirado de: Milgram, P., & Kishino, F. (1994). A taxonomy of Mixed Reality visual displays. *IEICE Transactions on Information Systems*, E77-D(12). Acedido em http://etclab.mie.utoronto.ca/people/paul_dir/IEICE94/ieice.html

Em primeiro lugar, são considerados objetos reais quaisquer objeto que tenha uma existência real considerada objetiva, sendo considerados objetos virtuais todos aqueles que existem em essência ou efeito, mas não formalmente ou de facto (Milgram e Kishino, 1994, p. 7). Isto é, objetos virtuais são aqueles que são fruto de uma simulação, mesmo que tenham origem num modelo ou descrição de um objeto real.

Um segundo ponto diz respeito à fidelidade ou qualidade de reprodução. Esta deve ser tida em conta, com a padrão de comparação a ser a vista direta sobre o real, sem mediação. Apesar de uma imagem/objeto poder parecer real, não significa que esta o seja. (Milgram e Kishino, 1994, p. 7).

Relativamente ao terceiro aspeto de distinção entre real e digital, este diz respeito à luminosidade e opacidade de um objeto. Imagens reais são aquelas que tem alguma luminosidade no local onde esta pareça estar localizada, com qualquer objeto virtual a ser considerado aquele que apresenta algum nível de transparência, não escondendo objetos localizados por trás dele. (Milgram e Kishino, 1994, p. 7).

Contudo, e apesar de todas as especificações acima apresentadas, Milgram e Kishino acharam conveniente expandir estes conceitos de forma a conseguir construir uma taxonomia mais formal (Milgram e Kishino, 1994, p. 8). Para isto, eles definem então três eixos para a classificação de sistemas de *Mixed reality*: Grau de conhecimento do mundo, Fidelidade de reprodução e Extensão da presença de metáfora.

Grau de Conhecimento do Mundo

Este ponto diz respeito à quantidade de informação detida pelo display do computador/tecnologia sobre a forma e localização dos objetos dentro dos dois mundos apresentados. É este o fator que determina muitas das capacidades operacionais do sistema de display, e não ter apenas ter em conta a classe dos objetos na mistura da *Mixed Reality*. (Milgram e Kishino, 1994, p. 9).

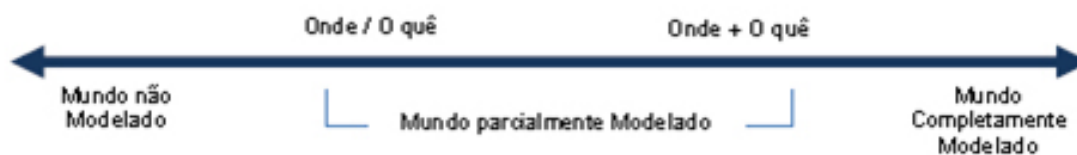


Figura 3 – Grau de conhecimento do mundo

Como representado na figura 3³, este conceito de conhecimento do mundo também é mais perceptível num formato espectral, onde o mundo não modelado mantém a sua representação no extremo esquerdo e o totalmente modelado se encontra no extremo direito. Aqui, o “onde” refere-se à existência de alguns dados quantitativos sobre locais do mundo, mas à inexistência de informação sobre o “O quê”, não permitindo identificar a que objetos pertencem determinados pontos. Relativamente ao “O quê”, este representa precisamente o oposto. Os sistemas tem informação acerca dos objetos na imagem, mas não sobre a sua localização (Milgram e Kishino, 1994, p. 10).

Facilitando uma visão mais prática deste conceito, podemos considerar o mundo não modelado como o “real” e o mundo totalmente modelado como um sistema de realidade virtual. Isto acontece, pois a realidade virtual só pode ser criada quando o computador tem total conhecimento sobre cada objeto nesse mundo – incluindo a sua localização - e também a localização e ponto de vista do observador (Milgram e Kishino, 1994, p. 10).

Fidelidade de reprodução

Relativamente à fidelidade de reprodução, este aspeto diz respeito à questão do realismo dos displays em termos de qualidade de imagem e imersão. Assim sendo, e de forma resumida, o conceito refere-se à fidelidade com que um display é capaz de

³ Adaptado de: Milgram, P., & Kishino, F. (1994). A taxonomy of Mixed Reality visual displays. *IEICE Transactions on Information Systems*, E77-D(12). Acedido em http://etclab.mie.utoronto.ca/people/paul_dir/IEICE94/ieice.html

reproduzir objeto reais ou virtuais, sendo o espectro proposto representado pela figura 4⁴.



Figura 4 – Fidelidade de reprodução

Milgram e Kishino suportam esta visão defendendo que, caso a qualidade de visualização real e virtual nunca ultrapassasse estes limites e fosse tratada como dimensões ortogonais separadas, não haveria nenhuma forma qualitativa que permitisse a um observador humano distinguir entre imagens de objetos ou cenas geradas por meio de amostragem de dados ou geradas sinteticamente através de modelos. (Milgram e Kishino, 1994, p. 11)

Extensão da presença de metáfora

Como terceiro e último ponto dos três eixos da taxonomia proposta, Milgram e Kishino descrevem a Extensão da metáfora de presença (EPM) como “A extensão em que o observador se destina a sentir o presente dentro da cena apresentada” (Milgram e Kishino, 1994, p. 11). Este aspecto prende-se não só com o alto grau de imersão proporcionado por alguns displays e a sua consequente forte metáfora de presença, mas também com a importância da existência de displays exocêntricos.

⁴ Adaptado de: Milgram, P., & Kishino, F. (1994). A taxonomy of Mixed Reality visual displays. *IEICE Transactions on Information Systems*, E77-D(12). Acedido em http://etclab.mie.utoronto.ca/people/paul_dir/IEICE94/ieice.html



Figura 5 – Extensão da presença de metáfora

Adotando mais uma vez uma representação contínua (figura 5)⁵, o eixo de EPM abrange uma diversidade de casos que vão desde a metáfora pela qual o utilizador vê o mundo através de um único ponto de vista monoscópico, até uma metáfora de imagem em tempo real, onde as sensações do utilizador/observador, idealmente, não são diferentes da realidade não mediada. (Milgram e Kishino, 1994, p. 12) Quanto a este conceito, é importante realçar que o registo do sistema sobre o ponto de vista e posicionamento do observador se apresenta como um fator fundamental para manter a fluidez da visualização e a metáfora de presença.

1.1.1 Realidade Virtual

Com o termo definido como “um ambiente gerado por computador, interativo, e a três dimensões, no qual uma pessoa é imersa” (Aukstakalnis e Blatner 1992, citado em Vallino, 1998, p. 6), a realidade virtual (RV) é uma tecnologia que engloba um espectro amplo de ideias.

A realidade virtual é um cenário tridimensional gerado por computador que requer gráficos de grande fidelidade de forma a fornecer um nível de realismo e imersão consideráveis. Este cenário - ou mundo - é geralmente apresentado por um *Head-Mounted-Display* (HMD) e é interativo, devendo proporcionar uma “comunicação” em tempo real, para que a experiência de interação e imersão seja efetiva.

O utilizador é completamente imerso num mundo artificial, o que exige que o sistema de realidade virtual perceba de forma precisa como o utilizador se move para que

⁵ Adaptado de: Milgram, P., & Kishino, F. (1994). A taxonomy of Mixed Reality visual displays. *IEICE Transactions on Information Systems*, E77-D(12). Acedido em http://etclab.mie.utoronto.ca/people/paul_dir/IEICE94/ieice.html

assim possa determinar qual o efeito apropriado que essa movimentação vai ter no cenário a ser renderizado no display (Vallino, 1998, p. 7).

1.1.2 Realidade Aumentada

Um sistema de realidade aumentada (RA) é um sistema que cria uma visão de uma realidade combinada através da incorporação de objetos virtuais gerados por computador, incluindo aqueles com propriedades tridimensionais, para dentro da cena (Vallino, 1998, p. 5). Este é, aliás, o maior aspeto que faz a realidade aumentada distinguir-se da realidade virtual. Se por um lado a RV pretende a total imersão do utilizador num mundo fictício, por outro a RA tem como principal ponto de partida o real, ao qual são posteriormente adicionados digitalmente elementos/objetos. Idealmente, estes objetos virtuais devem interagir com o utilizador e com objetos reais da cena de uma forma natural, com o derradeiro objetivo a ser criar um sistema cujo o utilizador não consiga detetar a diferença entre o mundo real e uma versão aumentada (Vallino, 1998, p. 5). Contudo, e apesar de diferentes necessidades de imersão, tanto os sistemas de realidade virtual como os de realidade aumentada dão ao utilizador uma sensação de imersão no ambiente virtual através de assegurar que o utilizador recebe um conjunto consistente de entradas sensoriais (Vallino, 1998, p. 7).

O conceito de realidade aumentada desenvolve-se em torno da ideia de que “a realidade aumentada melhora o desempenho do utilizador na perceção do mundo” (Vallino, 1998, p. 5), com o maior desafio no desenvolvimento de sistemas deste tipo a ser combinar o mundo real com o mundo virtual num simples ambiente aumentado, de forma conveniente (Vallino, 1998, p. 2)

Este acoplamento do digital e do real continua, no entanto, a apresentar a necessidade de níveis de computação exigentes e em tempo real. Isto acontece pois, para além da importância de uma determinação precisa do posicionamento do utilizador, existe ainda a componente adicional de fazer a correta colocação dos elementos digitais. Aqui, mais do que na RV, os erros de registo não são admissíveis – sobretudo em sistemas periciais - pela presença de dois estímulos visuais diferentes a serem apresentados em

simultâneo. Só com um registo preciso é possível que não se perca a sensação de uma realidade única, sólida e consistente.

1.1.3 Técnicas de registration

Um dos problemas mais comuns na criação de mundos virtuais é que, como referido, se apresenta especialmente como uma das correntes limitações da realidade aumentada está relacionada com o registo.

Por registo deve ser percebida a recolha de coordenadas do mundo real feitas pelo software, de forma a que na RV as manipulações do mundo digital sejam feitas em concordância e, na RA, os aumentos digitais sejam sobrepostos de forma precisa na localização pretendida. Para este registo, ao qual também é dado o nome de *image registration*, são utilizados vários métodos de visão por computador, os quais surgem como uma herança da odometria visual, mas não só. Outros métodos possíveis podem passar pela utilização de sistemas GPS, RFID, entre outros (Vairinhos, 2014, p. 251).

Este processo de recolha de coordenadas é então um passo chave na construção de qualquer sistema de realidade mista, pois características como a imersão, realismo e sensação de coexistência do real e do digital dependem da qualidade desse registo. Aliás, este é um aspeto tão crítico que existem várias aplicações de RA que exigem um registo preciso para sequer serem consideradas aceitáveis. Casos deste tipo são, por exemplo, aplicação para biopsias, onde o objeto virtual tem obrigatoriamente de estar no sítio real do tumor, pois caso contrário o cirurgião irá falhar o tumor e a biopsia falha. (Azuma, 1995, p. 16)

O registo de objetos reais e virtuais não é, no entanto, um problema específico das realidades mistas, com outros casos a surgir, por exemplo, na edição de vídeo profissional. Contudo, erros no registo em edição de vídeo até em sistemas de RV não são de forma alguma tão críticas como nos sistemas de RA, também pelo facto de estes erros não poderem ser corrigidos ou “ocultados”. Se no exemplo do vídeo digital o editor tem total controlo sobre cada *frame* e pode aperfeiçoar o registo até ao limite, no exemplo da realidade virtual o processo é algo mais complexo e reside mais numa perspetiva de

ocultação do que perfeccionismo. Aqui erros de registo resultam em Kinesthetic visual e conflitos visuais propriocetivos, o que, pelos sistemas Kinesthetico e Propriocetivos serem menos sensíveis que o sistema visual, torna este tipo de conflitos menos notórios do que conflitos visual-visual. (Azuma, 1995, p. 16) Para além do mais, o fenómeno de *visual capture*, caracterizado pela tendência do cérebro em acreditar mais no que vê em vez de no que sente, faz com que seja ainda mais difícil detetar determinados erros de registo em sistemas de realidade virtual, por força da sua filosofia isoladora do real. Fruto deste efeito o utilizador ganha também maior tolerância a erros, podendo até habituar-se a eles em cenários de longa exposição (Azuma, 1995, p. 17), caso o próprio sistema não os tenha compensado - procedimento também possível neste tipo de sistemas.

Posto isto, é então apreensível que um mesmo erro de registo é bastante mais grave, por exemplo, num sistema de RA suportado por um HMD *see-through* do que o é num ambiente de RV isolado. O utilizador vê a cena diretamente, detetando facilmente qualquer conflito que exista entre o real e o aumento (visual-visual), graças à resolução do olho humano e à sensibilidade do sistema visual para encontrar diferenças (Azuma, 1995, p. 17).

Este tipo de erros são difíceis de controlar adequadamente muito por força da necessidade de precisão e também das suas numerosas fontes, podendo ser classificados como sendo de dois tipos: Estáticos e Dinâmicos. Por erros estáticos pode-se entender aqueles que surgem mesmo que o ponto de vista do utilizador se mantenha e os objetos reais permaneçam imóveis. Já os erros Dinâmicos são aqueles que surgem na sequência de movimentos dos objetos reais ou de alterações do ponto de vista do utilizador (Azuma, 1995, p. 18).

O problema de registo, claro está, não se encontra então relacionado com os aspetos de perceção do utilizador ou com a forma como manuseia a tecnologia, mas sim com a falta de precisão dos sistemas de registo existentes e com a interatividade que se impõe neste tipo de tecnologia. Os atuais sistemas de registo ou "*tracking*" ainda apresentam falhas, com estas a resultarem muitas vezes em erros maiores do que os aceitáveis, sendo estes agravados pela falta de controlo que existe sobre os dados recolhidos pelo sistema. Ao contrário dos exemplos de edição de vídeo e da realidade

virtual, na realidade aumentada não existe praticamente controlo sobre os dados recolhidos, no sentido em que esta operação de recolha, tratamento e amostragem de elementos tem de ser rápida o suficiente para permitir a interatividade do sistema. Esta necessidade de rápida captura e processamento, aliado a questões de portabilidade, acabam por justificar as falhas que ainda existem nos atuais sistemas de registo.

1.1.4 Sistemas de Visualização

A tecnologia utilizada na conceção de sistemas de visualização para a realidade aumentada e a realidade virtual ainda está em desenvolvimento, com este a ser um dos principais fatores que limitam a progressão de ambos os paradigmas. Contudo, desde a sua génese até aos dias de hoje foram várias as abordagens propostas para o sistema de visualização, como a mais popular a ser a adoção dos *Head-Mounted-Displays* (HMD), quer na RA, quer também na RV.

Atualmente é possível encontrar uma vasta gama de sistemas que dão suporte a tecnologias de realidades mistas. Como exemplo oportuno disto mesmo é possível mencionar o HoloLens, um sistema de realidade aumentada suportado por HMD *see-through* recentemente lançado pela Microsoft e que apresenta uma abordagem algo diferenciada, voltada para a holografia.

No entanto, e apesar da referida predominância dos HMDs, é possível - e conveniente - dividir em quatro grandes classes todos os sistemas de visualização:

Video See-Through

Utilizando um HMD, nos *display* Vídeo *See-Through* o utilizador tem a sensação de presença num novo mundo “mais composto”. Esta é criada pela fusão de dois canais de vídeo - real e virtual - numa única imagem através de um processo chamado de codificação de vídeo, que se baseia nos fatores de luminância e crominância de ambos os sinais de vídeo (Vallino, 1995, p. 23). Esta captação da cena real requer, portanto, o uso de câmara integradas no sistema e alinhadas com a cena.

Optical See-Through

Já nos HMDs *Optical See-Through*, o uso de câmaras deixa de ser necessário, visto que o canal de vídeo que contem a cena real é eliminado. Este tipo de sistema recorre apenas a sensores que indicam a posição do HMD, com a fusão do real e do aumento digital a ser feito óticamente no próprio *display*. Esta abordagem é bastante parecida com a utilizada nos sistemas *Heads-Up-Display* (HUD), com a diferença de que nestes últimos a composição final surge numa superfície adicional em frente ao utilizador (ex. janela do *cockpit* de uma avião ou pára-brisas de um carro) e não incorporada no mesmo, através de um HMD.

A não utilização de câmaras pode, contudo, ser considerado um fator prejudicial no que diz à imersão contínua do sistema. Enquanto nos *display Vídeo See-Through* o atraso no processamento pode ser compensado, já que tudo o que é visto pelo utilizador é disponibilizado pelo sistema, nos *Optical See-Through* esse tipo de compensação já não é possível, pois o real é visto diretamente e aumentado através de sobreposição digital.

Virtual Retinal Systems

Introduzidos com a intenção de produzir um *display* virtual *Full Color*, com *field-of-view* amplo, alta resolução, alto brilho e a baixo custo (Silva et al., 2003, p. 3), os *Virtual Retinal Displays* (VRD) acabam por ser de possível aplicação em diversos panoramas/áreas.

Incorporados, mais uma vez, num HMD, os VRDs caracterizam-se pela projeção de uma fonte de luz diretamente da retina do utilizador, dando-lhe a ilusão de um ecrã com a informação à sua frente.

Esta tecnologia apresenta atualmente aspetos bastante vantajosos, tais como uma excelente vista stereo, imagem *full color*, largo *field-of-view* e características oscilantes (Silva et al., 2003, p. 3), sendo utilizada, por exemplo, em aplicações médicas ou militares.

Monitor Based

Bastante semelhante à arquitetura usada nos *displays See-Through*, os sistemas de RA *Monitor Based* também usam vídeo fundido, com a diferença de que esta usa um monitor convencional ao invés de um HMD, fazendo com que o utilizador não tenha sensação de imersão. Contudo, esta libertação do HMD constituiu uma vantagem, pois elimina os problemas de implementação que lhes estão associados.

Este é por muitos considerado o *setup* de RA mais simples de conceber.

Projector based

A RA *Projector based*, como o próprio nome o indica, baseia-se na projeção dos aumentos digitais sobre objetos ou superfícies convencionais do mundo real, tornando-as projeções virtuais.

Esta é uma tecnologia que se tem revelado indicada para aplicações onde é pretendida uma dinâmica de multi-utilizador, mas onde o posicionamento dos projetores se torna um dos aspetos críticos. Estes têm de estar perfeitamente alinhados com a superfície, de forma a que a aplicação seja bem sucedida, com esta questão a ser em tudo semelhante à das câmaras do HMD dos sistemas *see-through*.

1.2 Computação física

Ao contrario das abordagens mais comuns como a interação com GUIs, a computação física é uma outra abordagem à HCI, onde o ponto de partida é considerar o corpo humano, as suas capacidades e como este se expressa em termos físicos. Sendo o objetivo perceber as relações humanas com o mundo digital, ao invés de interagirmos com a tecnologia através dos periféricos mais comuns - como o rato, o teclado ou *touchscreen* - a computação física traz novos desafios, transformando as movimentações corporais humanas em sinais de input para comunicar com o sistema.

A construção de sistemas físico-interativos requer então o recurso a *software* e *hardware* que consigam sentir/perceber e responder a manifestações do mundo analógico, o que pode ser alcançado com o uso de sensores eletrónicos. Estes funcionam como conversores das alterações no meio físico para alterações do sinal elétrico, possibilitando assim a leitura e interpretação dessa informação por parte do sistema. A informação, após convertida em sinal elétrico, é geralmente transmitida a micro-controladores e é nestes onde se dá a interpretação do sinal como ocorrência de eventos físicos. Por sua vez, o micro-controlador deverá utilizar o “*status*” de ação recolhido para despoletar a execução de tarefas para as quais esteja previamente programado, podendo estas ser físicas e partir do próprio dispositivo (eg: Mover um motor, acender luzes, etc) ou simplesmente transmitir essa informação a dispositivos de maior poder de computação, para fins que o necessitem (ex: reproduções multimédia).

Neste tipo de abordagem, um papel importante é também desempenhado pela prototipagem, com ferramentas como o Wiring, o Arduino ou o Fritzing a ajudarem designers e artistas a prototipar de forma rápida os seus conceitos interativos.

Exemplos de aplicação da computação física podem ser frequentemente encontrados em museus, arte, design, aplicações comerciais ou em aplicações científicas, sendo também uma tendência crescente da filosofia DIY (*Do It Yourself*).

Ao contrário dos computadores convencionais, o conceito de computação física coloca a tónica na noção de computação, permitindo perspetivar os diversos artefactos que rodeiam o mundo físico do utilizador com inteligência e capacidade de processamento. Esta é a ideia que está subjacente à definição dada por Dan O’Sullivan e Igoe (2004).

“Quando lhes pedem para desenhar um computador, a maior parte das pessoas vai desenhar os mesmo elementos: Ecrã, teclado, e rato. Quando pensamos em “computador”, essa é a imagem que nos vem a cabeça. De forma a explorar na totalidade as possibilidades da computação, é necessário fugir desse estereótipo de computador. É necessário pensar em *computação* em vez de *computadores*. Os computadores devem

tomar qualquer forma física que se adapte às nossas necessidades para computar. Então para que é que a computação é boa?” (p. 1)

1.3 Computação ubíqua

O termo computação ubíqua, por vezes também referida como Ubicomp, surge pela primeira vez por Mark Weiser, em 1988, como um estilo de interação baseado na realidade e apoiado numa filosofia de aproveitamento das habilidades humanas. Este tipo de abordagem, para além de outros aspetos importantes, caracteriza-se pela facilidade de interação criada entre o utilizador e a informação digital, visto que esta abordagem assemelha as duas realidades (Weiser, 1991, p.940, citado em Preece et al., 2002).

“A Computação Ubíqua não vai produzir nada fundamentalmente novo, mas sim tornar tudo mais fácil e rápido de fazer, com menos tensão e ginástica mental, transformando o que é aparentemente possível” (p. 62)

É então sobre este conceito que a Computação Ubíqua se afirma como uma tendência emergente no futuro da HCI. Baseando-se numa integração subtil de computação em objetos e experiências diárias da ação humana (Zaphiris e Ang, 2009, p. 52) este estilo de interação procura quebrar a dependência dos utilizadores para com os computadores. Por outras palavras, a noção de Ubicomp sugere não a libertação total do computador enquanto tecnologia, mas sim do seu formato mais convencional, o *desktop*. O interesse de Weiser era perceber as capacidades humanas e não que a ubiquidade fosse simplesmente fazer os dispositivos mais pequenos e portáteis. Estes apenas não deveriam ser visíveis no ambiente, deixando-nos perder a noção da sua presença para que os usemos sem pensar neles (Preece et al., 2002, p. 62).

Esta difusão da computação por dispositivos e pelo ambiente real revela também outro tipo de aspetos mais específicos do paradigma, com todo o trabalho desenvolvido inicialmente por Weiser a obrigar os investigadores a dar especial atenção ao contexto e a questões sociais. Estes deveriam conceber contextos que englobassem principalmente a localização e outras características estáticas facilmente mensuráveis no contexto do

utilizador, procurando também as melhores práticas para uma subtil incorporação de inteligência corporal para informação do design nas rotinas humanas. Consequentemente, estudos de como os padrões de interação entre humanos e computadores mudam quando é adotado o uso de artefactos computacionalmente aumentados (Zaphiris e Ang, 2009, p. 52) tornaram-se algo fundamental para a evolução do paradigma.

Portanto, neste estilo de interação, e muito por força destes princípios de contextualização, uma interação corporal significativa com um sistema digital apenas é possível se for mantido um alinhamento entre o mundo físico e o digital (Zaphiris e Ang, 2009, p. 52). Aliás, as próprias interfaces tangíveis podem ser consideradas como uma aplicação das origens da computação ubíqua. Ambas apresentam o princípio fundamental de manter o utilizador no mundo real, usufruindo das primazias do mundo físico (Shaer e Honecker, 2010, p. 98). Noutros termos, “Bits” e “átomos” devem viver juntos em paz. (Negroponte, 1995, citado em Zaphiris e Ang, 2009, pág 52).

1.4 Interfaces tangíveis

As *Tangible User Interfaces* (TUI), como um dos paradigmas de interação emergente e em constante evolução na nova era pós-WIMP (*Window, Icon, Menu, Pointer*)(Shaer e Hornecker, 2010, p. 4), vêm trazer novas possibilidades, tornando-se uma inspiração para investigadores na área da HCI, na procura de novas interfaces e conceitos de interação.

O paradigma, como o conhecemos hoje em dia, pode compreender uma variedade de sistemas e proporcionar praticamente uma infinidade de abordagens, muito devido à evolução que sofreu desde as suas primeiras aproximações até ao que hoje conhecemos. Sugerido inicialmente pela temática das “*Graspable Interfaces*” de Fitzmaurice et al., em 1995, e da evolução desta última para os “*Tangible Bits*” de Ishii, em 1997, este paradigma de interação sugere que em vez de forçar os utilizadores a entrar num mundo virtual, este deveria aumentar e enriquecer o mundo real (átomos)

com funcionalidades digitais (bits), tornando o mundo físico num mundo interativo (bits e átomos) (Ishii e Ullmer, 1997, p. 2).

“A nossa tentativa é tornar "bits pintados" em "bits tangíveis", tirando partido de múltiplos sentidos e da multimodalidade das interações humanas com o mundo real” (Ishii e Ullmer, 1997, p. 8)

Articulando disciplinas como a computação física, realidade aumentada, computação ubíqua e a arquitetura desta última, as TUIs propõem um paradigma de interação que tem como base fundamental a transformação do ambiente físico que rodeia o utilizador numa interface com o mundo digital⁶.

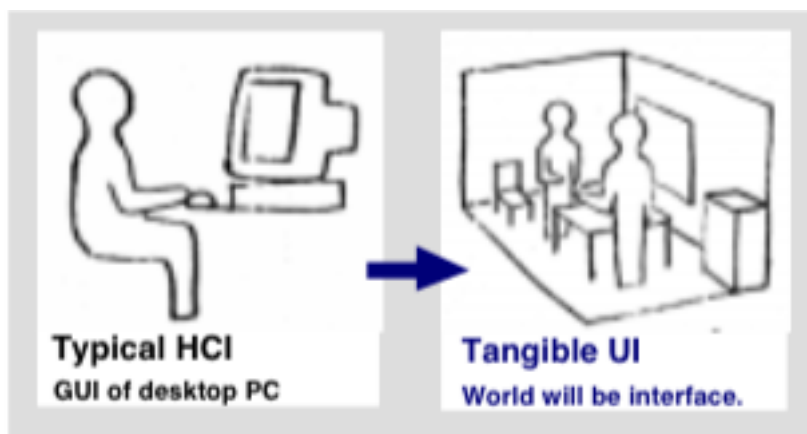


Figura 6 – Mudança do paradigma de interação (GUI para TUI) - Ishii e Ullmer (1997)

Este posicionamento do paradigma privilegia um enriquecimento da realidade, devendo, desejavelmente, ser retida a riqueza e noção de presença (Shaer e Hornecker, 2010, p. 6) que caracteriza a interação física. Contudo, ao ambiente das práticas humanas deve ser integrada computação, com o intuito de assim conseguir uma transição fluida entre o real e o digital. “Os humanos estão no mundo quotidiano” e foi sobre esta tendência que as interfaces tangíveis imergiram (Shaer e Hornecker, 2010, p. 6).

⁶ Retirado de: Ishii, H., & Ullmer, B. (1997). Tangible bits: towards seamless interfaces between people, bits and atoms. *Proceedings of the ACM SIGCHI*, 1–16. Acedido em <http://web.media.mit.edu/~anjchang/ti01/ishii-chi97-tangbits.pdf>

1.4.1 Modelo conceptual TUI

Ao longo do tempo novos limites foram alcançados, provando assim a solidez das bases iniciais definidas por Fitzmaurice e Ishii. Hoje é possível encontrar diversos elementos plenamente incorporados no nosso quotidiano que tiveram como base estas primeiras aproximações, com especial destaque para os blocos de madeira de Fitzmaurice nas Graspable Interfaces, que hoje conhecemos banalmente como superfícies *multi-touch*. Toda esta evolução foi possível graças à exaustiva prova de conceito que o paradigma sofreu após a inspiração inicial de Ishii e Ullmer (1997) no Ábaco e no seu carácter de manipulação física (Siscoutto e Brega, 2011, p. 98; Ishii & Ullmer, 1997, p.8). O trabalho desenvolvido elevou a investigação a um estado de maturidade superior, passando a ser dado maior ênfase ao design conceptual, testes de campo e utilizador, reflexão crítica, teórica, e à construção de conhecimento de design (Shaer e Hornecker, 2010, p. 7).

Outro ponto fundamental assinalável diz respeito ao lançamento de ferramentas para o auxílio do desenvolvimento, sendo aqui registado um notório crescimento. O lançamento de vários *toolkits* transformou o desenvolvimento de TUIs numa tarefa menos morosa e complexa, permitindo alcançar uma comunidade de exploração mais ampla e assim fortalecer fortemente alguns aspeto fundamentais deste estilo de interação, o que acontece, por exemplo, com a sua integração com disciplinas de design.

1.4.2 Propriedades

Os primeiros trabalhos com o objetivo de desenvolver e caracterizar sistemas do paradigma TUI tendiam a focar-se em taxonomia e terminologias, analisando o potencial mapeamento entre o físico e o digital, ou investigar *affordances* e formas físicas. Exemplos disto são os sistemas “*time-multiplexed*”, caracterizados por existir apenas um dispositivo de input ou as *graspable user interfaces* de Fitzmaurice, baseadas numa arquitetura *space-multiplexed* (existência de múltiplos dispositivos de input e output espalhados pelo espaço) (Shaer e Hornecker, 2010, p. 47).

Só em 2001 começou a ser dada mais atenção a outras características chave, como o modelo MCRit - *Model-Control-Representation* (intangível e tangível) - apresentado por Ullmer e Ishii. Neste modelo, as *tangible user* interfaces são definidas como sistemas que dão forma física à informação digital, aplicando a artefactos físicos tanto o papel de representações como de controlos de computação (Shaer e Hornecker, 2010, p. 48). Partindo do modelo MVC (*Model, View, control*) de interação baseada em *grafical user interfaces* (GUI), onde é defendida a divisão entre o controlo e a representação gráfica, o modelo MCRit salienta a referida integração de representações físicas e de controlo em interfaces de utilizador tangíveis, o que basicamente elimina a distinção entre dispositivos de entrada e saída (Shaer e Hornecker, 2010, p. 48; Isshi et al. , 2005, p. 93). O modelo MCRit vinca então quatro propriedades fundamentais das TUIs (Shaer e Hornecker, 2010, p. 49):

- Acoplamento computacional - os objetos tangíveis são computacionalmente relacionados com informação digital;
- Controlo interativo - A movimentação e manipulação de objetos é forma dominante no controlo do sistema;
- Acoplamento perceptual - Os objetos acoplados(artefactos físicos) ganham uma representação digital, perceptível (ex: áudio e imagens);
- Significância representativa - Os objetos incorporam os aspetos fundamentais de todo o sistema (ex: estado);

1.5 Computação vestível

Graças ao grande interesse demonstrado pelos investigadores na computação ubíqua e às suas características contextuais, outros estilos de interação semelhantes começaram a emergir, como foi o caso da Computação vestível (*Wearable Computing* ou simplesmente *Wearables*). Partilhando os mesmos princípios de pervasão da tecnologia no quotidiano e da eliminação de problemas de interação, O termo, sugerido por Steve Mann em 1996 no seu artigo "*Definition of "Wearable Computer"*", mantém uma forte relação com o conceito Computação Ubíqua, e também com a evolução dos *wearable*

computers. Objetivamente, o conceito de *Wearables* diz respeito à integração de computação em objetos vestíveis, com estes a poderem ser roupas, acessórios, artigos de joalheira, ou outros, e um produto de alta sofisticação ou pequenos protótipos construídos a partir de componentes standard (Zaphiris e Ang, 2009, p. 68). No entanto, e qualquer que seja a abordagem, estes devem sempre obedecer ao mesmo fim: expandir as funcionalidades desses objetos base comuns.

Duas das primeiras definições de *Wearable Computer*, de Bass e Mann, enfatizam que os *Wearables* são desenhados com a intenção de pertencer à física corporal do utilizador e que isto faz parte do que este se considera (Zaphiris e Ang, 2009, p. 1193). Assim, e ao contrário do que acontece com os dispositivos móveis que conhecemos como usuais, como por exemplo o *smartphone*, os *Wearables* apresentam a característica distinta de serem “agarrados” ao corpo humano. Esta permite reduzir a possibilidade de interrupções de sinal ou falhas no posicionamento, mas tem como ponto mais importante a sua fácil e natural integração com o meio e atividade humana.

Em termos práticos, sendo os *Wearables* uma tecnologia que se move com o utilizador, torna-se possível captar informação sensorial deste em tempo real, no tempo e no espaço, e construir modelos comportamentais pré-definidos, de forma a registar o seu estado. Esta recolha de informação e registo torna a tecnologia “mais inteligente”, permitindo um comportamento do dispositivo ajustado em concordância com esses dados (Starner et al, 1997, citado em Zaphiris e Ang, 2009, p. 10) ou também por em prática a noção de *sousveillance*. Esta última, igualmente introduzida Steve Man, diz respeito à gravação de atividades por parte dos utilizadores com recurso a *Wearables* de tamanho reduzido ou a outras tecnologias portáteis, ajudando a capturar ou pelo menos relembrar a experiência diária através de vídeo e som gravados no contexto (Zaphiris e Ang, 2009, p. 81). Quando falamos de experiência diária e vivência no quotidiano é necessário ter em conta pormenores como mobilidade e liberdade geografia, fatores estes que fazem dos *Wearables* uma tecnologia ainda mais distinta, sendo atualmente a única solução que cumpre estes requisitos.

De uma forma geral, os *Wearables* revelam uma descrição - em alguns aspetos - semelhantes a de outras tecnologias como, por exemplo, a realidade aumentada. Estes

podem ser descritos com dispositivos que, através do aumento, podem melhorar tanto a percepção do utilizador sobre o ambiente como substituir essa compreensão, sendo por alguns investigadores considerados com autênticas próteses cognitivas (Zaphiris e Ang, 2009, p. 1193).

Como abordagens emergentes do paradigma temos, por exemplo, os HMDs ou os chamados “*smartWatches*”.

1.6 Domínios de aplicação da tecnologia

A implementação de sistema de realidade aumentada em procedimentos médicos acaba por não ser algo totalmente recente. Desde há vários anos e especialmente nos tempos mais recentes têm havido várias tentativas de utilizar as potencialidades desta tecnologia para o enriquecimento da atividade médica. Assim sendo, torna-se fundamental para o presente projeto conhecer e analisar que avanços têm sido feitos na mesma área onde este se insere. Apesar de não ser possível fazer uma revisão de todos os projetos já desenvolvidos, seguem-se a baixo alguns exemplos considerados relevantes para uma percepção do que de mais atual se faz na área.

Mapeamento de Biopsias óticas para limpeza de cancro minimamente evasiva

Mountney, Giannarou, Elson e Yang, do Institute of Biomedical Engineering Imperial College, apresentaram uma nova abordagem para o *tracking* de biopsia óticas micro confocais (Mountney et al., 2009, p. 1). Este novo modelo permite a navegação aumentada intra-operativa, o redireccionamento da biopsia para zonas do tecido já examinadas e uma projeção precisa destes pontos, possibilitando o uso da técnica na prática clínica (Figura 7). Através de um sistema de *tracking image-based* em SLAM (*Simultaneous Localization and Tapping*), a proposta apresentada explora o facto de a câmara estar relativamente estática enquanto a biopsia é feita, permitindo a localização e análise contextual de microestruturas ou guiar biopsias reais ao tecido (p. 2).

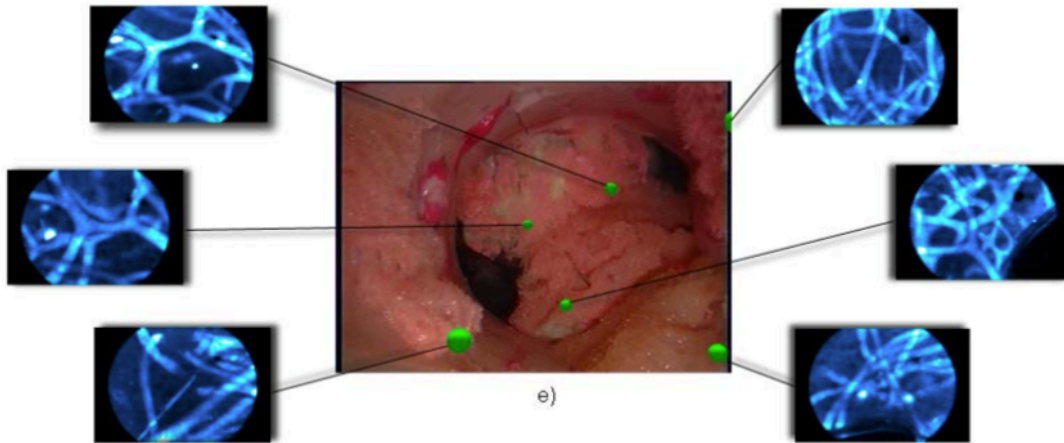


Figura 7 – Locais da biopsia e respectivas imagens endoscópicas com fluorescência

Com a utilização deste método é possível criar um modelo 3D da superfície e mapear todos os locais da biopsia de forma espaço-temporal, sem que seja necessária a recolha de informação prévia sobre a geometria do tecido ou o uso de qualquer tipo de marcador fiducial (p. 3).

Esta combinação entre SLAM e o *tracking* da sonda é o aspeto mais inovador do estudo, permitindo uma vista aumentada em tempo real e facilitando a redefinição do alvo e examinação em série de potenciais lesões. Ao contrário das técnicas existentes para aplicações *in vivo*, as quais sofrem de limitações e apenas providenciam uma região sondada pequena e localizada, esta nova abordagem permite uma integração de imagens multi-escala, útil, por exemplo, para examinar órgãos que exijam o mapeamento de uma grande área de superfície (Mountney et al., 2009, p. 2).

A posição inicial do sítio da biopsia no plano da imagem é estimada através de uma sonda, com a localização da sua ponta a ser feita através da interceção entre esta e um ponto de referência, sendo feita uma estimativa 3D de ambas. Esta estimativa é feita através da utilização de semi-modelos da ponta da sonda e conhecimento prévio da sua largura e da sua relação com o ponto de referência (p. 3).

O método apresentado já foi posto à prova e recebeu validação, obtendo excelentes resultados de precisão o que demonstra a força e valor clínico da técnica.

UNC Ultrasound – Investigação na realidade aumentada para a medicina

Um grupo de investigação de técnicas de Ultra-som da Universidade do Colorado (Fuchs et al., 2000) trabalha atualmente no desenvolvimento de um sistema que permita ao médico ver dentro do corpo humano do paciente, fazendo uso da tecnologia de realidade aumentada. O atual projeto faz uso de imagem ecográfica ultra-som e laparoscópica e tem suporte num *Head-Mounted-Display see-through* personalizado, com aumentos computacionais de alta performance a compor imagens combinadas dos aumentos e do utilizador em tempo real (Fuchs et al., 2000). Esta personalização dos HMDs, utilizados pelo grupo neste e noutros projetos de realidade aumentada, acontece visto que os que se encontram atualmente no mercado não são apropriados para a prática de intervenções guiadas por ultra-som.

Sempre dentro das abordagens através de ultra som, este grupo de investigação teve experiências anteriores com sistemas semelhantes, tais como a visualização de fetos sobrepostos ao abdómen de pacientes grávidas (Fuchs H. et al., 2000).

No referido projeto, foram utilizadas técnicas tradicionais de *chroma key* para fazer a combinação entre as imagens renderizadas por ultra-som e as captadas em vídeo através de uma câmara montada na cabeça. As imagens deste sistema não eram claras e pecavam na tridimensionalidade dos fetos, ao qual o grupo atribui grande parte do problema à falta de alinhamento, devido a um mau *tracking*. Assim, o sistema foi sofrendo os necessários melhoramentos, tais como um novo algoritmo de tratamento da informação ultra-som e re-calibração das sonda, melhoramentos no *tracking* da cabeça e migração para uma renderização *offline* (Fuchs et al., 2000). Contudo, um dos objetivos do grupo passou sempre pelo uso de uma ferramenta em tempo real.

Procurando alternativas, foi feita nova evolução para um sistema intermediário em tempo real baseado em SGI Onyx Infinite Reality (IR). Este sistema permitiu obter imagens altamente superiores às geradas pelo sistema anterior, fazendo uso de técnicas de correção do *tracking*, previsão, interpolação de leituras anteriores e re-ordenação computacional com todos estes aspetos a contribuírem para a redução da latência do sistema e redução dos erros de registo (Fuchs et al., 2000). Outros melhoramentos foram

a utilização de sondas de alta precisão, dispositivos *de tracking* mecânico - estes a conseguir um registo correto das informações ultra-som - e novos métodos de representação da informação ultra-som.

Atualmente a equipa de investigação trabalha em parceria com a Universidade de Utah no desenvolvimento de HMDs *video-see-through* e experimentam alternativas a esta tecnologia.

Como motivações, o grupo argumenta que um sistema de realidade aumentada que mostre informação ultra-som e laparoscópica, e que faça um bom registo do paciente, pode ser uma ferramenta poderosa e intuitiva quer para o ensino quer para guiar o médico entre procedimentos do género. Relativamente a falhas na tecnologia, são apontadas as dificuldades de conseguir um *tracking* correto e a necessidade de serem desenvolvidos instrumentos e algoritmos que permitam a aquisição rápida de modelos tridimensionais da geometria intra-corporal (Fuchs et al., 2000).

Realidade Aumentada na cirurgia neurovascular: Primeiras Experiências

Num trabalho de parceria entre o Instituto Neurológico de Montreal e a Universidade de Montreal, um grupo de investigadores idealizou e concebeu um sistema de realidade aumentada a ser usado na cirurgia neurovascular (Kersten-Oertel et al., 2014). O sistema, desenvolvido e já testado em três cenários neurovasculares diferentes - aneurisma, malformação arteriovenosa e arteriovenosa dural - assenta na motivação de auxiliar o cirurgião na planificação da craniotomia e redução do tempo necessário para localizar e identificar vasos sanguíneos importantes (p.1).



Figura 8 – Câmera e suporte utilizados em diferentes pontos durante a cirurgia

Este sistema de realidade aumentada conta com uma abordagem *monitor-based*, onde uma câmara de vídeo(Figura 8)⁷ externa faz o *tracking* do paciente em tempo real. Relativamente ao registo do sistema para a recolha de dados pré-operatórios, este é feito com recurso a códigos fiduciais e o aumento digital é sobreposto à anatomia do paciente, com todos os parâmetros de visualização a poderem ser alterados a qualquer momento. Como apresentado na figura 9⁸, o sistema usa ainda várias técnicas de renderização, de forma a melhorar a perceção de profundidade e visualização de neurovasculatura (Kersten-Oertel et al., 2014, p. 2).

⁷ Retirada de: Kersten-Oertel, M. [et al.] (2014). Augmented Reality in Neurovascular Surgery: First Experiences. Em *Augmented Environments for Computer-Assisted Interventions*, United States of America, 2014. doi: 10.1007/978-3-319-10437-9_9. Acedido em https://www.researchgate.net/publication/266674464_Augmented_Reality_in_Neurovascular_Surgery_First_Experiences

⁸ Retirada de: Kersten-Oertel, M. [et al.] (2014). Augmented Reality in Neurovascular Surgery: First Experiences. Em *Augmented Environments for Computer-Assisted Interventions*, United States of America, 2014. doi: 10.1007/978-3-319-10437-9_9. Acedido em https://www.researchgate.net/publication/266674464_Augmented_Reality_in_Neurovascular_Surgery_First_Experiences

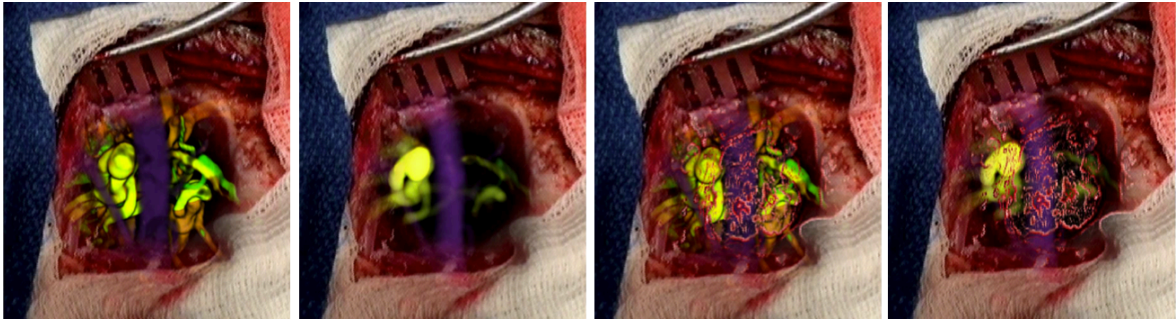


Figura 9 – Diferentes vistas renderizadas disponíveis

Concluído o desenvolvimento do sistema, este foi testado em contextos reais de cirurgia, com o foco da equipa de desenvolvimento a ser tentar determinar o quão eficiente seria a integração do sistema no fluxo de trabalho cirúrgico e também quando este poderia ou não ser utilizado.

Das conclusões retiradas destes experimentos, foram identificadas pelos cirurgiões algumas debilidades do sistema, mas também algumas virtudes. Como principais fatores positivos, o sistema apresentava uma fácil inicialização e também uma boa definição de requisitos funcionais (p. 6). Pormenores como a capacidade de localizar vasos sanguíneos e áreas de interesse - não visíveis à superfície - foram salientados pelos utilizadores como opções úteis para a prática, enquanto a falta de informação, por exemplo, sobre a profundidade destes mesmos vasos foi identificada como uma funcionalidade em falta. Outra debilidade identificada no decorrer dos testes foi a dificuldade sentida pelos utilizadores em fazer a distinção entre os aumentos digitais e a anatomia envolvente, por força da referida sobreposição dos aumentos sobre o real, mas especialmente pelo esquema cromático escolhido para os aumentos. Neste caso, uma alteração de um esquema vermelho/roxo para outro mais contrastante tornaria mais fácil e compreensível a vista do aumento (p. 7).

Em observações finais ao desenvolvimento do produto e aos estudos levados a cabo, os investigadores mostram-se satisfeitos com os resultados obtidos, especialmente no que diz respeito à localização de regiões de interesse e no planeamento de craniotomias (Kersten-Oertel et al., 2014, p. 8). A respeito de trabalhos futuros, esta equipa apresenta várias melhorias, nomeadamente no fluxo de trabalho e também nas

questões de visualização. Quanto a este último aspeto, a integração da câmara no sistema, melhorias na interface e optar por representações não foto-realistas são pormenores a salientar.

Realidade aumentada móvel para PCNL assistida por computador

Uma parceria entre investigadores do Departamento de Informática médica e biológica, do German Cancer Research Center, e alguns clínicos e técnicos hospitalares procura conceber um sistema de navegação inovador, capaz de facilitar os procedimentos de *Percutaneous nephrolithotomy* (PCNL) na remoção de pedras renais (Seitel et al., 2013, p. 1).

Podendo ser auxiliado por vários tipos de práticas, como o ultra-som ou fluoroscopia, as abordagens PCNL caracterizam-se especialmente pelos seus pontos positivos, como a sua faceta minimamente evasiva, baixando o risco de infeções, cuidados pós-operatórios e marcas corporais. Este tipo de práticas são, atualmente, consideradas como o estado da arte da remoção de pedras no sistema colector renal, tornando a providenciação de acesso renal numa tarefa elementar neste tipo de intervenção, independentemente do tipo de abordagem auxiliar (p. 1). Sendo parte fundamental das intervenções, é então reservado aos procedimentos PCNL um papel de destaque pela sua extrema importância e desafio que representa para os clínicos. Porém, tamanha popularidade e as referidas vantagens não apagam algumas das debilidades que estas abordagens apresentam, sendo estas do ponto de vista funcional, mas também do ponto de vista do doente.

O processo comum, apoiado por qualquer uma das referidas metodologias, é demorado e pouco objetivo, levando a múltiplas re-orientações ou re-inserções da agulha, podendo inclusive criar lesões graves em tecidos ou estrutura adjacentes, como o cólon, o fígado, a pleura e o pulmão (p. 5). Para além desta questão, que evidencia a necessidade de vasto conhecimento anatómico renal, retroperitoneal e torácico, a quantidade de radiação à qual o doente é exposto revela-se também um dos pontos menos positivos (p. 5).

Neste sentido, e movidos também pela incidência generalizada deste tipo de patia, o grupo de investigadores decidiu-se a criar um novo sistema que, para além de facilitar a intervenção e proteger o doente de excessos de radiação, não corrompe o fluxo de trabalho que atualmente se dá neste tipo de procedimento cirúrgico (Seitel et al., 2013, p. 5). Com uma abordagem a assentar neste aspetos, a tentativa é de que o sistema acrescente real valor à prática para ambas as partes - cirurgião e doente -, tentando igualmente e desde logo aumentar um potencial impacto que esta nova sugestão possa vir a ter, pela sua fácil integração nos procedimentos atuais. De forma a cumprir estes pressupostos conceptuais o grupo de investigadores reformulou conceptualmente o sistema testando soluções de vários tipos, tirando ilações e melhorando-o de acordo com as observações recolhidas.

Atualmente, e após algumas interações, a arquitetura do sistema (Figura 10)⁹ baseia-se numa aplicação de realidade aumentada *monitor-base*. Um *tablet* montado num suporte flexível é colocado por cima do paciente, onde é possível ao clínico acompanhar uma imagem aumentada, em tempo real, da ação a decorrer e também ativar comandos do sistema A imagem da cena é captada pela câmara do *tablet*, enviada via *wi-fi* para um servidor auxiliar, onde é trabalhada, e retornada para o *tablet* onde, então, é apresentada. (p.8 e 9)

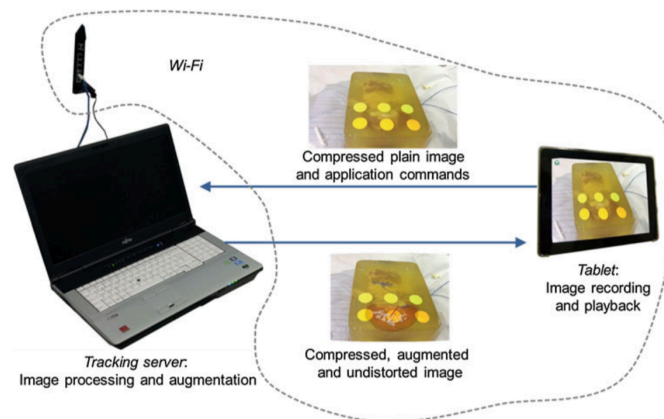


Figura 10 – Esquema visual da arquitectua do sistema

⁹ Retirado de: Seitel, A., Teber, D., Meinzer, H., Maier-Hein, L., Müller, M., Rassweiler, M., . . . Rassweiler, J. (2013). Mobile augmented reality for computer- assisted percutaneous nephrolithotomy. INTERNATIONAL JOURNAL OF COMPUTER ASSISTED RADIOLOGY AND SURGERY. doi:10.1007/s11548-013-0828-4

O registo do sistema é feito através da imagem capturada pelo *tablet*, fazendo uso de marcadores radio-densos como código fiducial. Estes são fixados na pele do paciente antes da imagiologia juntamente com etiquetas adesivas coloridas, tornando-se facilmente detetáveis em tomografias computadorizadas ou exames raioX (Seitel et al., 2013, p. 6). Como referido, toda esta composição é recolhida pela câmara do dispositivo e é enviada para um servidor mais capaz computacionalmente. Já no servidor, a imagem é interpretada, o aumento é gerado e ocorre a fusão entre as duas realidades, formando a cena final. Esta é posteriormente enviada para o *tablet* a fim de ser apresentada ao cirurgião, dando-se este ciclo a cada *frame* capturado pela câmara, a fim de construir uma experiência fluida em tempo real. Durante este processo de registo, e de forma a poder criar o aumento da forma adequada, o servidor utiliza o vídeo capturado e também parâmetros de calibração da câmara para estimar a posição da mesma. Este procedimento, ao qual os investigadores dão o nome de “pose da câmara” torna-se fundamental para a geração dos aumentos na posição e perspetiva corretas (p. 9), sendo os algoritmos desta estimativa de posição um dos pontos em destaque neste estudo .

Estando em fase de testes e pretendendo estabelecer comparações entre as três abordagens - sistema de navegação, fluoroscopia e ultra-som - quanto ao tempo de desempenho e nível de exposição à radiação, foram criadas duas abordagens distintas: Uma em que o aumento seria tridimensional e uma outra em que este seria “apenas” bidimensional. O primeiro tipo necessitaria leitura prévia do sistema renal, fazendo uso de um dispositivo de imagiologia 3D de forma a criar um modelo virtual do mesmo, enquanto o segundo se baseava na utilização simples das técnicas auxiliares comuns - Fluoroscopia e/ou ultra-som. A restante leitura corporal do paciente seria feita através de um scanner 3D convencional (Siemens DynaCT). (Seitel et al., 2013, p. 7)

Tentando fazer uma prova de conceito com o novo produto desenvolvido, este foi posto à prova com a ajuda de dois urologistas experientes e um trainee, usando modelos meramente representativos e não doentes reais, com todo o processo a ser auxiliado por

um técnico (p. 10). Como representado na figura 11¹⁰, cada modelo era composto por dois rins de porco envolvidos num bloco de gelatina balística, com resistência semelhante ao tecido humano, recriando assim algo muito próximo de uma intervenção de verdade. Após colocados os códigos fiduciais, os adesivos, e injetado o agente contrastante - de forma a se obter bom contraste - os testes poderiam começar.



Figura 11 – Componentes de um sistema pronto a utilizar

Como tarefa, era pedido aos cirurgiões que executassem entre três a quatro perfurações com cada um dos métodos, sendo registado o tempo de cada intervenção bem sucedida, tal como o nível de radiação por parte do dispositivo fluoroscópico. Uma intervenção seria dada como inválida a partir do momento em que o operador o determinasse e dada como cancelada caso a agulha tivesse de ser completamente removida. Todas as contagens eram apenas iniciadas a partir do momento em que a agulha era inserida, não constando nos resultados finais o tempo despendido em todos os preliminares necessários para cada método, o qual demora, em média, doze minutos. Durante os testes do grupo, um aspeto a realçar foi o facto de o cirurgião poder fazer recurso de fluoroscopia a qualquer momento, de forma a verificar o processo de inserção

¹⁰ Retirado de: Seitel, A., Teber, D., Meinzer, H., Maier-Hein, L., Müller, M., Rassweiler, M., . . . Rassweiler, J. (2013). Mobile augmented reality for computer- assisted percutaneous nephrolithotomy. INTERNATIONAL JOURNAL OF COMPUTER ASSISTED RADIOLOGY AND SURGERY. doi:10.1007/s11548-013-0828-4

da agulha. Desta forma, quer o sistema de navegação, quer o guia ultra-som poderiam sempre ser combinados com informação fluoroscópica, caso tal fosse necessário ou desejado. (Seitel et al., 2013, p. 11)

Quanto aos resultados práticos obtidos neste estudo, o grupo de investigação decidiu dividi-los em dois grupos: Os obtidos pelos urologistas experientes, e os obtidos pelo urologista trainee. Observando os primeiramente os resultados do urologista inexperiente, os dados recolhidos dão conta de uma maior percentagem de intervenções bem sucedidas na utilização do sistema de navegação móvel desenvolvido. De entre as 16 tentativas operadas com este sistema obteve um aproveitamento de 81%, contrastando com os 70% no uso de ultra-som (10 tentativas) e os 64% obtidos recorrendo a fluoroscopia (64%). A nível de radiação, os valores mais baixos foram registados com a utilização de ultra-som, seguindo o sistema de navegação e, por último, a fluoroscopia. Relativamente ao tempo despendido para executar as tarefas, o ultra-som foi a abordagem mais rápida com 50 segundos, seguindo-se o sistema de navegação e por fim a fluoroscopia, como 65 e 81 segundos, respectivamente. (p. 12)

A respeito dos urologistas experientes, os resultados obtidos foram algo diferentes, o que torna os frutos deste projeto ainda mais interessantes. Ambos os clínicos obtiveram um aproveitamento de 100% nas tarefas propostas, tendo no entanto apenas realizado 8 intervenções usando o sistema proposto, 4 usando fluoroscopia e outras 4 usando ultra-som. No que toca à exposição à radiação, o ultra-som, tal como nas intervenções do trainee, volta a ser a solução mais vantajosa, apresentando as taxas de exposição mais baixas, como a fluoroscopia a apresentar novamente os valores mais elevados. Contudo, a média nos tempos de execução de tarefas inverte a ordem, com a fluoroscopia a revelar-se a abordagem mais eficiente, com 58 segundos, seguindo-se o ultra-som (82) e por fim o sistema de navegação (159). (Seitel et al., 2013, p. 13)

Seguindo-se a fase de interpretação dos dados a fim de tirar ilações do estudo, os investigadores começam por se focar na relativamente baixa exposição à radiação conseguida quando o sistema é utilizado por trainees. Este tipo de resultados, contrastando abruptamente com os obtidos pelos urologistas experientes, torna evidente que o sistema proposto não apresenta nenhuma melhoria significativa quando utilizado

por profissionais mais experientes (p. 13). Contudo, a capacidade demonstrada por estes em conduzir o processo através de ultra-som com baixo recurso a fluoroscopia é um ponto ressaltado como positivo, visto baixar os níveis de radiação.

Relativamente aos melhores tempos conseguidos pelos trainees em relação aos mais experientes, a equipa tem a convicção de que estes partem do hábito e experiência. É observado que clínicos mais experientes estão mais habituados a realizar o mesmo procedimento mas com meios diferentes, mais *standart*, o que explica a falta de “habilidade”, estranheza ou até relutância em seguir novos procedimentos (p. 14).

Dos aspetos técnicos, os algoritmos de estimação da pose da câmara, merecedores de grande foco desde cedo, foram encarados como ainda não suficientemente precisos. Já tendo testado vários métodos e até combinações destes em experimentos anteriores a equipa de investigação parece continuar à procura de uma alternativa mais sólida, apesar de o aumento digital ter recolhido bom feedback. Neste aspeto, a sobreposição tridimensional ao modelo de paciente foi bastante bem recebida, sendo considerada como algo bastante útil durante a experiência, sendo, contudo, denotada alguma falta de informação com mais profundidade. Em alguns casos tornou-se difícil chegar ao alvo desejado, o que, presumem, influenciou os tempos de desempenho e uso de mais radiação em alguns dos experimentos. Para solucionar o problema, a equipa, à data da escrita do artigo, já se encontra a testar soluções para fazer o *tracking* da agulha, permitindo que seja feita a sua extensão/guia digital. (p. 14)

O design do sistema é também um dos aspetos que merece a ressalva da equipa de investigação. Para além de terem conseguido que o sistema tivesse a pretendida fácil integração nos processos, a sua natureza portátil também foi bem recebida, apesar de haver a consciência de que uma libertação do servidor auxiliar seria um passo a seguir. (Seitel et al., 2013, p. 15)

Como apontamentos finais, e ainda analisando os dados obtidos, são feitas mais algumas considerações sobre os níveis de radiação, havendo um reconhecimento de que os resultados obtidos podem não ser totalmente ilustrativos (p. 14). Na perspetiva da equipa, os valores médios de radioatividade podem ser superiores aquando de situações

reais, visto existir um aumento da responsabilidade por nessas intervenções se tratar de um ser humano e não uma representação. Por outro lado, e fruto da versatilidade do sistema de navegação em relação a *tablets* e procedimentos médicos, o nível de exposição à radiação pode ser reduzido quando aplicados a outros procedimentos (p. 14).

Em suma, o sistema de realidade aumentada proposto revelou-se útil na assistência a intervenções PCNL e provou estar à frente de outros sistema de assistência geralmente usados. As características de baixo custo e mobilidade do produto fazem crer um campo de adoção bastante vasto, sendo esperado que futuras iterações do sistema venham combater os maus resultados com profissionais mais experientes, sendo mais fácil de usar logo à partida, sem necessidade de treino. (p. 15)

Como trabalho futuro, o foco desta equipa de investigação irá passar por aspetos técnicos do sistema, tal como a referida libertação do servidor auxiliar, tornando o *tablet* uma plataforma auto-suficiente (p. 15). Outro aspeto, também ele um problema já identificado, é o sistema de registo. O tipo de solução usada, existindo a possibilidade de usar uma visualização 3D ou 2D, pode tornar-se confusa, visto que os marcadores fiduciais usados para o registo podem ser confundidos com sobreposições bidimensionais (p. 15).

2. Metodologia

O presente projeto tem como objetivo adotar uma abordagem de design centrado no utilizador. Esta é a metodologia que se julga ser adequada para o projeto, por força de todas as particularidades que evidência, especialmente pelo contacto direto com os utilizadores. Esta abordagem possibilita a construção de um conhecimento mais profundo sobre os próprios, os seus requisitos e a estrutura do seu modelo mental, sendo estes os alicerces fundamentais para a conceção de um design mais direcionado e apropriado.

Reconhecer que no imediato não se conhece a solução ideal para o problema é um ponto de partida importante, pois para além da especificidade do meio e trabalho médico, é necessário ter em conta presumíveis variações quanto à experiência e metodologias utilizadas pelos profissionais. É fundamental que o desenvolvimento não parta apenas de pressupostos ou princípios gerais, mas sim de opiniões fundamentadas e que vá de encontro às práticas e metodologias já adotadas, integrando-se nos processos habituais, tentado ao mesmo tempo conferir-lhes uma maior fluidez e objetividade.

Todos estes requisitos requerem portanto a adoção de uma metodologia mais próxima do utilizador final - o médico - para que o desenvolvimento conceptual e

funcional do produto vá ao encontro do que o este idealiza e necessita. Neste sentido, para o desenvolvimento do projeto será formada uma equipa de investigação e desenvolvimento constituída por um especialista em HCI, um designer e um especialista em produção de equipamentos e também dois médicos especialistas na área médica em estudo.

2.1 Design centrado no utilizador

O design centrado no utilizador (UCD) é portanto uma abordagem que mantém um foco constante no utilizador e nas suas necessidades e desejos, dando especial ênfase à conceção de sistemas usáveis e compreensíveis (Norman, p. 187). Esta metodologia, torna o utilizador na força condutora no desenvolvimento do produto, permitindo que este parta imediatamente de bases mais sólidas para o seu envolvimento. Conhecer os utilizadores é um ponto de partida e um aspeto essencial para perceber a sua realidade e estrutura de pensamento, o que conjugado com a colocação de tarefas ou problemas iniciais a solucionar se torna numa poderosa ferramenta de recolha de informação. (Gould et al, 1985, p. 3).

Com base nestas mesmas ideias, Gould e Lewis propõem, em 1985, três princípios fundamentais: “Foco inicial e contínuo no utilizador”, “medidas empíricas de uso” e “design iterativo”; sendo estes considerados a solução para desenvolver sistemas de computador úteis e simples de usar e também as bases da abordagem de design centrado no utilizador (Peerce et al., 2002, p. 285). De forma mais explícita estes conceitos correspondem, respetivamente, ao conhecimento dos utilizadores por parte dos designers, testes de utilização feitos pelos utilizadores e a ciclos de design iterativos, que identifiquem e corrijam os erros até à completa aceitação do sistema. (Gould et al., p. 1) Aqui as medições empíricas não se tratam apenas de meros testes com protótipos que tentam ir de encontro aos requisitos do utilizador, mas sim de uma nova oportunidade para perceber como este pode ser melhorado de forma a ser mais útil e usável para o utilizador (Gould et al., 1985, p. 3). Com a realização de tarefas simples a ser observada e as suas performances analisadas, o interesse do processo passa pela importância de os

designers perceberem características cognitivas e emocionais do utilizador face ao sistema proposto. O designer deve desenvolver um modelo concetual que seja apropriado para os utilizadores e que capture as partes importantes da operação do dispositivo, sendo isto compreensível pelo utilizador. (Norman, 2002, p. 189)

Quando envolvidos diretamente no desenvolvimento do sistemas, os utilizadores podem produzir um contributo elevado para o processo de desenvolvimento, nomeadamente em termos de aceitação do produto e do não distanciamento dos seus interesses (Preece et al., 2002, p. 279), mas também na avaliação e troca de opiniões constantes, permitindo correções e aperfeiçoamentos contínuos. Este envolvimento do utilizador no projeto deve contudo ser bem estruturado, pois um envolvimento excessivo pode levar a problemas e a quantidade de tempo necessária para organizar, gerir e controlar tal colaboração (Peerce et al., 2002, p. 281) é elevada. Assim sendo, a participação de utilizadores no desenvolvimento exige uma consideração da equipa de designers quanto ao grau de envolvimento, podendo ser uma contribuição a part-time, ou a *full-time* (Peerce et al, 2002, p. 281). Contudo, em qualquer um dos casos o utilizador deve-se manter sempre a par dos desenvolvimentos do projeto, seja pela participação a *full-time*, seja por *newsletters* regulares (Peerce et al, 2002, p. 281).

Em termos práticos, ao aplicar uma metodologia de UCD, os princípios a serem implementados podem ser equiparados às quatro atividades básicas do design de interação: Identificar necessidades e especificar requisitos, desenhar alternativas, protótipar e, por fim, avaliar (Peerce et al., 2002, p. 168). Relativamente ao surgimento e resolução de problemas, deve-se seguir uma filosofia de design iterativo. Estes, quando identificados, devem ser corrigidos e retomada a fase de testes, formando um ciclo de “testa, identifica, corrige” que se deve repetir até à completa aceitação do sistema.

Diante do exposto, justifica-se então que a solução metodológica mais sólida para o desenvolvimento do projeto proposto passe por uma abordagem do tipo *bottom-up*, como é o caso do UCD. O foco da equipa residirá nas metodologias solidificadas, vasta experiência e modelo mental de um pequeno grupo de médicos especialistas da área (*bottom*), para que no futuro esse possa ser um ponto de partida para uma ferramenta mais generalizada (*up*). Esta aproximação praticamente imediata às ideias e necessidades

do utilizador permitirá prosseguir para a fase de desenho de alternativas com mais certezas, criando ideias mais palpáveis para implementar na prototipagem.

Seguindo-se para o desenvolvimento do protótipo, esta será uma fase de ponderação a nível técnico e também conceptual, procurando realizar alguns reparos em ideias previamente construídas, com o intuito de tornar o produto o mais distinto e adequado possível. Por fim, irá se proceder à realização de testes com vista a atestar a qualidade do protótipo desenvolvido, com estes a respeitarem os referidos ciclos iterativos de aperfeiçoamento do protótipo.

2.2 Design da experiência

Experiência é um conceito rico, com uma longa história de debate e várias tentativas para o definir (Hassenzahl, 2012). De forma geral, a noção de experiência encontra-se sempre muito próxima de algo que foi considerado especial, que perdurará na memória e inconscientemente se categoriza como irrepetível. Tradicionalmente estas experiências são descritas como frutos de relações interpessoais, visitas a lugares especiais, ou presenças em determinados eventos, como por exemplo, um concerto. No entanto, cada vez mais existe a consciência de que aquilo que pode ser considerado uma experiência pode ser encontrado em ações mais comuns e não apenas em situações ou ambientes mais “excêntricos”. Seja um dia ao sol, o trabalhar no jardim, um churrasco com os amigos ou uma viagem ao mercado, elas estão por perto (Hassenzahl, 2012).

Dependente de enumeras variáveis, a verdadeira noção de experiência abdica daquelas que são meramente materiais. Estudos comprovam que as chamadas compras experienciais (dispêndio de dinheiro em alguma atividade) traz às pessoas mais felicidade do que meras compras materiais, como a de objetos tangíveis (i.e roupas, joias ou equipamento áudio do mesmo valor) (Boven e Gilovich, 2003, Carter e Giloch, 2010, citado em Marc Hassenzahl, 2012).

Este afastamento do prazer material, conjugado com a crescente consciência humana de que simples prazeres podem ser verdadeiras experiências, leva-nos a crer que cada vez mais o cultivar do experiencial é uma postura pós-materialista. Atributos como a

estética continuam a desempenhar um papel fundamental, mas existe uma mudança de paradigma da “estética das coisas para o da estética das experiências” (Hassenzahl, 2012).

A necessidade humana de experienciar o imaterial surge da rápida perda de interesse criada por uma orientação meramente material. Esta última, apesar de também se traduzir em experiências gratificantes, sofre com o seu imediatismo e possibilidade de repetição, que lhe retiram a significância e carácter memorável, os quais são dois pontos nucleares do verdadeiro conceito de experiência.

Toda esta noção do conceito de experiência, contudo, revela-se um pouco vasta, pois não existe uma forma específica de “obter” experiências. No caso específico do design da experiência/experiência do utilizador, podemos nos referir a ela como uma subcategoria da experiência, que diz respeito à forma como nos sentimos ao atuar sobre um produto no momento em que é usado - a experiência momento-por-momento (Hassenzahl, 2012). O produto/material não é portanto um entrave à experiência, podendo uma orientação pós-material e experiencial ser-lhe facilmente incorporada, mas este apenas é de interesse se for crucial para a criação da mesma (Hassenzahl, 2012). Ao tê-lo, essa experiência mediada não perde em nenhum aspeto para uma que não o seja, pois aliás grande parte das experiências pós-materialistas são mediadas, como por exemplo a leitura de jornais. Assim sendo, fazendo ou não uso de tecnologia, os veículos de mediação também criam e tornam as experiências substanciais, devendo apenas preocupar-se em atingir uma transcendência física/material.

Contudo, o meio utilizado como mediação nem sempre é importante para uma experiência, visto que este pode nem sequer ter sido criado/idealizado especificamente para ela em particular, sendo esta uma constante no que diz respeito à mediação de experiências através de tecnologia. Relativamente a esta recente vertente, que se tem tornado vastamente no veículo mais popular de disponibilização de experiências, e onde se pressupõem a presença de interatividade e de prazeres materiais (ex. *Smartphone*), parece desde logo existir um paradoxo. Enquanto a experiência é integrada e volátil, um produto interativo, para além de tangível, é um pedaço de tecnologia produzida em massa (Hassenzahl, 2012), o que sugere a corrupção de ideais como a singularidade.

Experiência ou experiência do utilizador não tem a ver com bom design industrial, *multi-touch*, interfaces graficamente ricas ou até mesmo tecnologia, o que faz com que o verdadeiro desafio dos designers e/ou fornecedores de produtos interativos seja a referida transcendência do material, criando experiências significativas através de um dispositivo. As experiências são criadas, desenhadas e aperfeiçoadas deliberadamente, com a dificuldade acrescida de mascarar a sua artificialidade ao mesmo tempo que tenta fugir da vulgaridade. Torna-se então fundamental para o designer perceber ao certo os pontos fundamentais da experiência a transmitir, pois sem essa percepção clara a criação da interface - física ou digital - torna-se desde logo infrutífera.

O designer passa a ser considerado como o autor das experiências, criando o produto através do qual o utilizador pode contar uma história, mas que ao mesmo tempo o produto “materializa” (Hassenzahl, 2012). Um exemplo disto mesmo é a Buddah Machine da FM3, sendo este considerado como um dos únicos produtos no mercado capaz de representar a verdadeira noção de design da experiência. Apelidada por Wagstaff (Hassenzahl, 2012) como o Anti-iPod, a Buddah Machine é uma tecnologia que oferece uma experiência significativa, valorosa e estética (Hassenzahl, 2012) que “consegue transcender a carcaça de plástico barata do produto” (Heater, 2008, citado em Hassenzahl, 2012). Não apenas um elevado número de funções, deixando que seja o utilizador a descobrir com o incorporar no seu quotidiano.

“Um arranjo de interação sensual, estético, nobre, ou estimulante faz o produto ser ‘experiencial’.” (Hassenzahl, 2012)

Os produtos com que regularmente lidamos atualmente não costumam, no entanto, seguir toda esta filosofia. A grande maioria deles apresenta facetas “demasiado” práticas/funcionais e outras de significância pouco específica (*open-ended*). Se por um lado funcionalidades explícitas de gestão de gastos ou do calendário não trazem grandes emoções, por outro uma simples aplicação de *messaging* também não as garante logo à partida, pois tudo irá depender de outros fatores que não a tecnologia. Este permanecer da responsabilidade de criação de experiências significativas no utilizador, quando o mesmo se apropria de tecnologia, vai então contra os princípios básicos do design de

experiências, visto que estas devem ser “significativas, atraentes, valorosas e esteticamente apetecíveis por si só” (Hassenzahl, 2012).

Todas estas questões revelam então uma necessidade de definir de uma forma mais sintetizada e objetiva quais os princípios fundamentais para o correto design de uma experiência, especialmente quando mediados através de tecnologia. Para Marc Hassenzahl (Hassenzahl, 2012) existem três perguntas básicas: “Porquê?”, “O quê?” e “Como?”. O “porquê” surge pela necessidade de clarificar as necessidades que o produto vem dar resposta, o “O quê” refere-se às funcionalidades que o dispositivo poderá oferecer à experiência, e o “Como” à forma apropriada de permitir a atuação do utilizador sobre o produto.

Só a resposta competente a estas três perguntas leva à criação de produtos sensíveis às particularidades da experiência humana (Hassenzahl, 2012), com o papel principal a ser desempenhado pelo “Porquê”, pela declarada necessidade de criar emoções.

Contudo, hoje em dia as respostas ao “O quê” e “Como” são as que acabam por identificar o produto, com o “Como” a ser aquele que se encontra mais ligado ao verdadeiro objeto a ser desenhado e ao seu respetivo conceito de uso. Quer a nível operacional, quer senso-motor - pressionar botões, sensores de rotação, navegação por menus, *touch-screens*, ou por controlos remotos (Hassenzahl, 2012) - esta acaba por ser a etapa mais incisiva para o designer de interação, onde funcionalidades específicas são trabalhadas com o intuito de serem acessíveis de uma forma esteticamente apelativa (Hassenzahl, 2012).

O design da experiência torna-se então num ponto a ter em especial atenção pela equipa de desenvolvimento. Usufruindo da proximidade proporcionada pela metodologia de UCD já descrita, será feito um esforço especial para dar resposta concreta às três dimensões que caracterizam um bom design da experiência. O interesse no desenvolvimento do presente projeto fundamenta-se, aliás, na crença de conseguir respostas esclarecedoras a estas questões, para que o produto a desenvolver possa ser não só direcionado, mas também o mais apropriado. Os compromissos a que a equipa se

propõem passar por proporcionar uma melhor e mais facilitada experiência médica em processos que se revelam trabalhosos - “Porquê?”, trazendo-lhe um modelo de interação prazeroso, fluido, funcional e, sobretudo, adequado - “O que?”. Tudo isto através da criação de um produto inovador, quer a nível tecnológico, quer a nível de modelo de interação, que consiga cumprir todos estes pressupostos - “Como”.

2.3 Técnicas de investigação/Recolha de dados e análise de requisitos

Com vista à criação de um produto com as características descritas é necessário recolher o máximo de informação possível juntos de utilizadores, a fim de delinear os requisitos funcionais e não funcionais do sistema. A recolha de dados é um ponto fundamental na abordagem estipulada, com toda a informação vinda de testes a poder revelar-se útil para conduzir a equipa de desenvolvimento da forma mais correta. Contudo, e nunca desprezando informação adicional que possa vir a surgir durante a recolha, é necessária uma escolha cuidada dos instrumentos de pesquisa a utilizar. Uma abordagem pouco estruturada pode originar uma recolha de dados algo ambígua ao recolher demasiada informação, podendo esta ser até pouco relevante, elevando em demasia o tempo despendido, quer na recolha, quer no curar dos dados. Assim sendo, com vista numa abordagem mais estruturada e objetiva, foram tomadas decisões quanto às técnicas a utilizar, tentando obter resposta para questões já identificadas ao mesmo tempo que se daria oportunidade para uma recolha de opiniões mais espontâneas.

No seguimento das ideias descritas, foi então delineado que a recolha de dados e análise de requisitos do sistema seria um processo que procuraria dar respostas a várias dimensões distintas; Teria de ser feito um levantamento de requisitos a nível funcional, do ambiente da ação, do utilizador e da usabilidade do sistema. Sucintamente, todos estes pontos, iriam permitir definir os requisitos do sistema de visualização, do *mapping* de/e sistemas de input a implementar e de questões de interação, tendo em conta o utilizador e o espaço.

“Mapping é um termo técnico que significa relacionar duas coisas.” (Norman, 2002, p. 23)

“ O arranjo entre os bicos e controlos no fogão de cozinha dão um bom exemplo do poder do mapeamento natural para reduzir a necessidade de ter informação na memória. Sem um bom mapping, o utilizador não consegue determinar prontamente que bico pertence a que botão.” (Norman, 2002, p. 75)

Todas as dimensões acabam por ser algo complementares, mas estas exigem uma distinção no momento da análise de requisitos, visto as questões que levantam necessitarem de instrumentos de análise diferentes. No que diz respeito aos sistemas de visualização, é importante perceber o que o *display* necessita de reproduzir: se exige uma combinação/sobreposição precisa do real e do digital ou se o acompanhamento da atividade apenas com meta informação não combinada será um melhor caminho a seguir. Para questões deste tipo, as respostas podem ser obtidas com relativa facilidade através de entrevistas e questionários. Uma vez que se trata de uma questão espetavelmente mais objetiva e estando o utilizador perfeitamente familiarizado com a atividade e as necessidades da tarefa desempenhada, torna-se fácil expressar um opinião. Já no que respeita ao *mapping* e sistemas de input o mesmo não se verifica. Ao contrário das questões anteriores, a escolha entre dispositivos de input e o seu mapeamento requerem, para além de entrevistas e questionários, testes com protótipos e respetiva observação. Isto acontece quer por falta de familiaridade dos utilizadores com as tecnologias, quer pela ambiguidade da questão. Assim, e em suma, na procura de respostas para as referidas dimensões, as opções da equipa recaíram sobre entrevistas semiestruturadas, questionário, e testes com protótipos funcionais, enriquecendo os dados através de observação natural.

O processo de recolha de dados e especificação de requisitos é uma atividade sequencial entre recolha, análise e interpretação (Preece et al., 2002, p. 203) e , como tal, as conclusões finais deste estudo resultaram da conjugação dos instrumentos de análise utilizados, a fim de um refinamento dos mesmos. Assim sendo, relativamente à

preferência pelos métodos indicados, a escolha foi tomada em consciência pela especificidade das questões a colocar e pela forma como os diferentes instrumentos se pudessem colmatar.

A escolha pelas entrevistas surgiu de forma a se conseguir explorar com mais profundidade as questões propostas. Desta forma torna-se possível proceder a uma contextualização mais adequada (Preece et al., 2002, p. 211) e usufruir de um contacto direto com o utilizador que tornaria mais fácil a comunicação de ideias e opiniões mais complexas. Estas serão presenciais, semiestruturadas e de carácter exploratório, no sentido em que existirá um guião de entrevista, mas as questões não deveram ser rígidas, de carácter fechado. Fazendo uso das qualidades do método de entrevista, será dada ao utilizador a liberdade de progredir com considerações e de trazer para a conversa pontos que para eles sejam relevantes. A contextualização das questões pode lembrar determinados pormenores (Preece et al., 2002, p. 211) e esses dados podem ser importantes, tal como outros – qualitativos - que possam ser recolhidos por estas serem feitas de forma presencial. Quanto a este instrumento resta realçar que, devido à metodologia de UCD utilizada, tem um papel bastante presente na investigação, sendo posto em prática imediatamente no início do projeto, com fins exploratórios pré-desenvolvimento.

Relativamente à pretendida utilização de questionários, estes seguem a mesma linha, mas apresentaram questões mais concretas onde se esperam simplesmente respostas mais objetivas (Preece et al., 2002, p. 211). Estes serão igualmente entregues de forma presencial e deverão conter perguntas acerca das funcionalidades desejadas ou, por exemplo, classificação do grau de importância de uma série de funcionalidades sugeridas.

A respeito dos testes do protótipo, espera-se que se revelem bastante proveitosos, desempenhando um papel especialmente importante na validação da análise de requisitos levada a cabo pelos restantes instrumentos de análise. Estes serão realizados em ambiente controlado onde é pretendido que o protótipo permita perceber quais os melhores sistemas de input e registo, mas também perceber se existem ou não outras restrições – inclusive físicas - a ter em conta. O contexto do bloco operativo e da

cirurgia em questão é muito específico, multitarefa e pericial, o que torna a realização destes testes fundamental para perceber como é que o médico interage com o espaço e poderá interagir com o sistema.

Na realização dos testes irá igualmente ser feito uso da técnica de observação natural, tentando que haja o mínimo envolvimento possível por parte da equipa. Assim pretende-se observar a rapidez de adaptação dos utilizadores ao sistemas (Preece et al., 2002, p. 118) e o refinar das conclusões finais com dados qualitativos, recolhidos através de notas escritas e/ou outros formatos a definir (ex: vídeo, som). Quanto a este método, estima-se que venha a ser uma fonte de dados bastante proveitosa. Será uma oportunidade única de observar o primeiro contacto dos utilizadores com as ideias do projeto em prática, onde a troca de observações passa a estar facilitada, o que se torna benéfico para ambas as partes envolvidas.

Por fim, a equipa pretende também incluir o estudo de documentação como um dos métodos de recolha de requisitos do sistema. Visto todo o trabalho a desenvolver já ser precedido de um estudo aprofundado sobre domínios de aplicação na área, julga-se ser conveniente ter essa informação em conta. A referida recolha, tal como detalhado no capítulo dois do presente documento, já se encontra devidamente analisada e será uma base de trabalho interessante. Contudo, todo este material será apenas encarado como um apoio importante, nunca fazendo prevalecer essa informação sobre os dados recolhidos na investigação ou mesmo encará-la como verdades estabelecidas. Toda a análise e recolha será feita da forma mais aprofundada, podendo sim oferecer para teste alguns aspetos já relatados como positivos, a fim de comprovar a sua aceitação.

Resta acrescentar que todo o procedimento de recolha de dados acima referido será, logicamente, feito com utilizadores reais e pertencentes à equipa de investigação, com a escolha pelos referidos instrumentos de investigação a julgar-se pertinente e justificável, especialmente pelo número de elementos que compõem a equipa de investigação. Tendo esta um número reduzido de elementos, aproximações deste tipo permitem a sua utilização de uma forma mais sólida e apropriada, possibilitando, por exemplo, realizar entrevistas mais aprofundadas e recorrer à observação natural de forma mais tranquila e atenta.

Esta é, inclusivamente, uma das grandes oportunidades criadas para o correto desenvolvimento de um produto com este grau de incerteza e inovação. Parte-se para este projeto com a intenção de solucionar questões relacionadas com o sistema de input, a interface e o sistema de registo, para as quais não se reconhece uma solução óbvia, pelo que a possibilidade de realizar uma recolha de dados e especificação de requisitos de forma conveniente é um ponto especialmente importante.

3. Caracterização do ambiente de interação

A desenvolvimento de um produto de forma devidamente apropriada, independentemente do ambiente, é sempre uma tarefa que requer ponderação e conhecimento, entre outras coisas, sobre o espaço e ação. Torna-se necessário conhecer determinados requisitos do próprio ambiente, tais como as circunstâncias em que produto será utilizado, em que condições isso acontecerá e qual o ambiente social envolvente. Devendo este trabalho prévio ser sempre encarado com seriedade, no meio médico e mais propriamente no cirúrgico, este processo de idealização toma outra dimensão, fruto da sua especificidade e falta de conhecimento comprovado. Enquanto num variado leque de outras atividades existe um maior sentimento de senso comum ou conhecimento mínimo, no caso do bloco operatório isso não acontece. No desenvolvimento de algo para estes ambientes é necessário ter a consciência de que existem inúmeros parâmetros a ter em conta que só conhecendo realmente o meio é que é possível percebê-los.

Existem determinadas rotinas e formas de interação que são seguidas à risca pela exigência, precisão e minúcia das tarefas, o que, por si só, já levanta desafios. Contudo,

outros aspetos necessitam de ser tidos em conta, tais como variações nos métodos de trabalho ou até alterações de dinâmica repentinas. Apesar de existirem procedimentos definidos a seguir e os passos da ação estarem, à partida, extremamente bem estruturados, a forma de realizar uma mesma tarefa pode diferir de cirurgião para cirurgião, sem nunca excluir a possibilidade de ocorrerem contratempos capazes de alterar rapidamente a configuração inicial do processo. A dinâmica de um procedimento clínico idealmente é estanque, mas a existência deste carácter de imprevisibilidade leva a considerações e investigação mais profundada na hora de conceber algo para esse ambiente. Passa portanto a ser necessário conhecer tanto os requisitos do ambiente, como também do utilizador, técnicos e de usabilidade.

3.1 Descrição do ambiente do procedimento cirúrgico

O bloco operatório é um local onde existe um grande número de profissionais a trabalhar em conjunto, tornando-o num ambiente movimentado, com a referida natureza dinâmica. Dependente do fluxo de trabalho, do número de pessoas presentes e do aparecimento de complicações, o grau de dinamismo é portanto um parâmetro em que, apesar de crítico, não lhe é possível atribuir um “nível” fixo.

Numa cirurgia normal existem sempre, pelo menos, sete pessoas dentro do bloco. Dois médicos (médico executante e médico assistente), dois enfermeiros (instrumentista e circulante), um anestesista e o seu enfermeiro e ainda, no mínimo, um auxiliar. A presença de todos estes intervenientes no mesmo local leva portanto a interações constantes, seja por necessidades da cirurgia, seja por uma certa descontração e simples comunicação. Fatores como o estado de espírito, estado e dificuldade da tarefa ou até a “qualidade” dos relacionamentos interpessoais são essenciais para determinar o referido dinamismo presente na sala. Tal como em qualquer outra atividade, cada profissional tem a sua forma de estar, de interagir e de se pôr confortável de forma a conseguir um equilíbrio que o leve a desempenhar as suas tarefas da forma mais correta. Assim sendo, torna-se igualmente difícil classificar indubitavelmente este tipo de ambiente em aspetos como, por exemplo, a quantidade de ruído presente.

Contudo, e apesar das dúvidas mencionadas, torna-se legítimo dar como adquirido que, em qualquer que seja o estado do ambiente, haverá sempre algum tipo de ruído e agilidade motora. Mesmo que apenas por comunicação entre intervenientes irá sempre haver uma grande probabilidade de existir ruído, enquanto o dinamismo é claramente uma característica inerente à tarefa, por mais reduzido que seja. Assim sendo, fatores como o *footprint* do sistema a desenvolver e os seus mecanismos de input começaram a ser definidos. O primeiro, havendo simples atividade generalizada ou grande fluxo de movimento, deveria ser o menor possível para uma melhor integração e mobilidade do equipamento no espaço. Por sua vez, o segundo deveria ter em conta os níveis de ruído na utilização, por exemplo, de sistema de input por voz.

De outro ponto de vista, e para lá das mecânicas mais gerais, interessa também perceber as diferentes formas de trabalhar o mais detalhadamente possível, conseguindo produzir um sistema versátil o suficiente que sirva, no mínimo, algumas das metodologias mais utilizadas. Neste aspeto e no caso do presente estudo, trabalhando com uma empresa parceira que conta com a sua própria equipa de médicos e tendo optado por uma metodologia de UCD, a compreensão destes aspetos de utilização do sistema residiu nestes profissionais.

3.2 Laparoscopia

Surgida no início dos anos 60, a laparoscopia é um tipo de intervenção cirúrgica que consiste na criação de pequenas incisões feitas pelo médico na região a operar (“Laparoscopia: o que é?”, 2013), permitindo através desses “canais” a inserção de instrumentos que lhe sejam úteis para a concretização da intervenção. Também mencionada como videolaparoscopia, esta abordagem tem evoluído com o tempo, servido vários propósitos, tais como a recolha de material para biopsias, intervenções de foro ginecológico ou para tratamento de articulações, adotando variações metodológicas e utensílios, de acordo com a finalidade (“Laparoscopia: o que é?”, 2013).

De entre os referidos utensílios o de uso generalizado é, como presumível, o laparoscópio. Esta é uma ferramenta utilizada para poder observar os órgãos e estruturas

dentro do paciente, fornecendo imagens de alta resolução capturadas por uma mini-câmara colocada na sua extremidade (“Laparoscopia: o que é?”, 2013), a serem apresentadas num qualquer sistema capaz de reproduzir vídeo. Utilizada em fins diagnósticos e terapêuticos (“Laparoscopia: o que é?”, 2013), a metodologia recorre a outras incisões de forma a possibilitar igualmente a inserção dos instrumentos necessários para a intervenção. Estes são praticamente em tudo semelhantes aos de intervenções normais, mostrando-se apenas fisicamente mais finos e delicados, variando dependendo da zona a operar.

A respeito das vantagens de intervenções laparoscópicas, estas podem ser de diversos níveis, surgindo tanto para a equipa médica como para o doente. Fruto da sua principal característica ser a sua faceta minimamente evasiva, a escolha por uma abordagem deste tipo pode desde logo trazer ao doente vantagens óbvias, como a redução de marcas corporais. Outros benefícios resultantes para o paciente a mencionar são, por exemplo, um menor trauma cirúrgico, menor dor e tempo de recuperação pós-operatório e redução de taxas de infeção, o que são vantagens já consideravelmente assinaláveis (“Laparoscopia: o que é?”, 2013). Para o clínico, aspetos como um menor sangramento intraoperatório e o simples facto de não ter de executar uma cirurgia a céu aberto são considerados bastante relevantes (“Laparoscopia: o que é?”, 2013).

Regra geral, uma intervenção laparoscópica acaba por seguir sempre um procedimento base como o acima identificado. Contudo, visto poder ser adotada para diversos fins para além da urologia - onde o presente projeto se foca -, podem surgir variações. A título de exemplo, nas intervenções ao abdómen é comum proceder-se ao bombear de ar para o seu interior, criando assim espaço para que os órgãos se separem e seja possível trabalhar sobre eles. Já no presente projeto, não é essa a metodologia utilizada.

No caso específico da metodologia observada presencialmente pela equipa, o processo no qual se pretende integrar o produto a desenvolver baseia-se em quatro fases principais para executar a cirurgia:

- Inserção de agente contrastante;

- Rotação do paciente;
- Perfuração;
- Destruição e Remoção da pedra;

A primeira tarefa inicia-se com a introdução de um cateter no paciente com o auxílio de raioX, permitindo desta forma aferir a posição correta da inserção (Figura 12). Este processo dá-se enquanto o paciente se encontra em posição “supine” (barriga para cima) e é utilizado para possibilitar a introdução de líquido contrastante através do cateter, de forma a melhorar a visão sobre o rim na imagem raioX.



Figura 12 – Retrato de cirurgia – Introdução do cateter

Após este procedimento inicial o paciente é rodado, ficando na posição “prona” (barriga para baixo), para que lhe passe a ser feita uma perfuração com a agulha guia novamente com recurso a raioX (Figura 13).

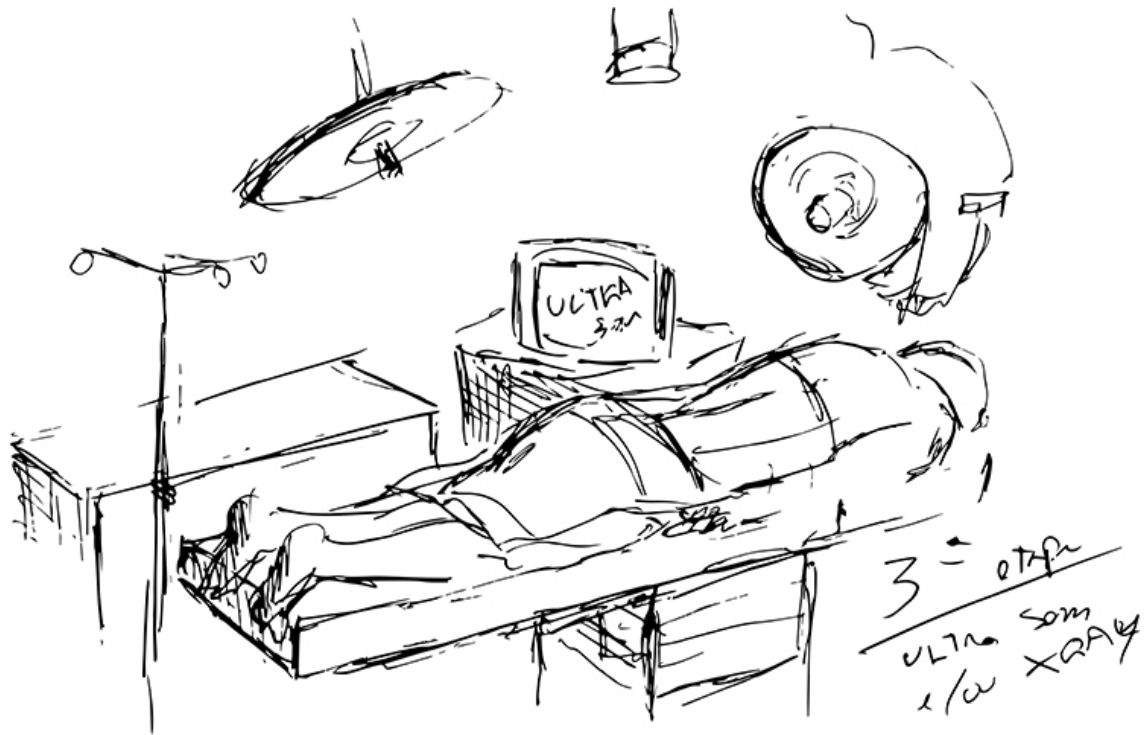


Figura 13 – Retrato de cirurgia – Rotação e perfuração do paciente com agulha

É através desta agulha que é feita a introdução dos restantes instrumentos cirúrgicos, com esta a ser orientada por um “objeto guia” que, no caso, é uma tesoura (Figuras 14 e 15). Durante esta fase todo o apoio através de raioX é conseguido mediante disparos constantes e em grande número, que são visualizados em monitores situados à esquerda do cirurgião (Figura 16).

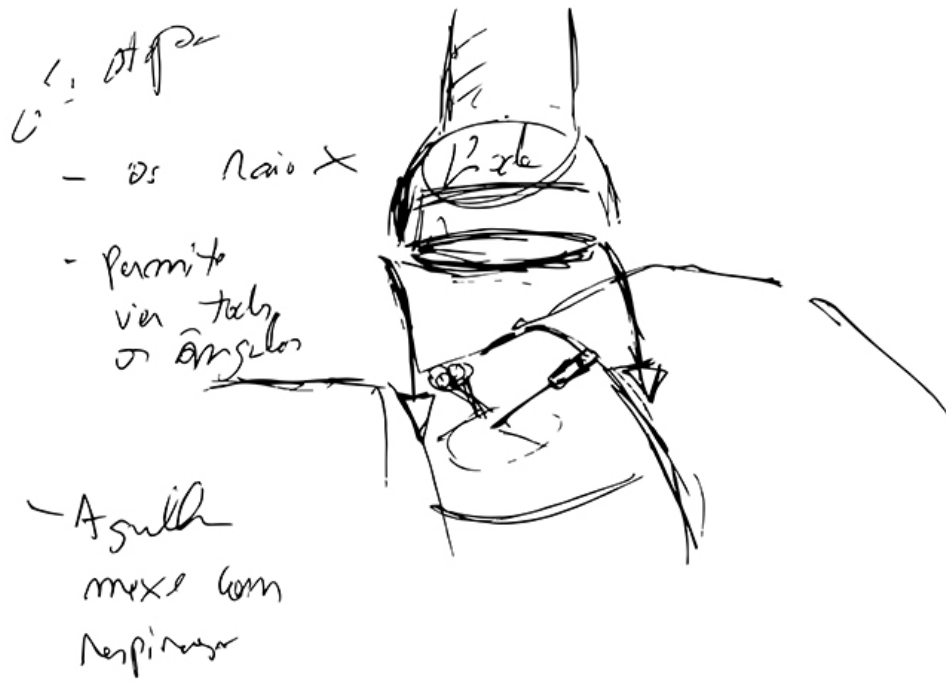


Figura 14 – Retrato de cirurgia – Perfuração do paciente com agulha

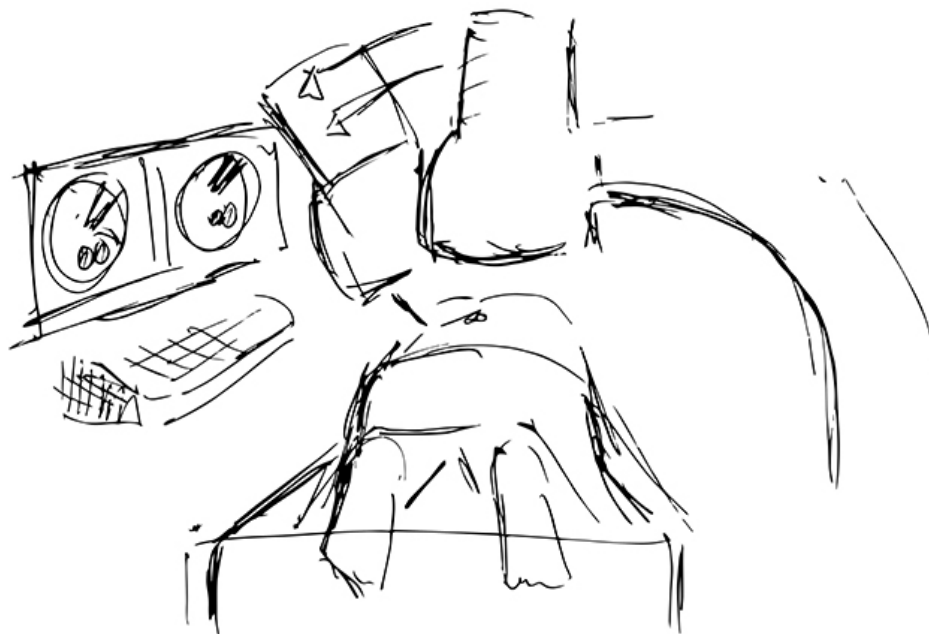


Figura 15 – Retrato de cirurgia – Reposicionamento do RaioX



Figura 16 – Retrato de cirurgia – Médicos observam imagem raioX

Terminada a inserção de instrumentos é iniciada a quarta e última fase, a destruição e remoção das pedras. Todo este processo é feito com recurso a imagens de vídeo recolhidas em tempo real com estas a serem exibidas em monitores acima do paciente.

Relativamente às figuras 12, 13, 14, 15 e 16 apresentadas, resta salientar que são imagens de um procedimento cirúrgico real, ao qual a equipa de investigação assistiu no Oxford University Hospitals NHS Trust, UK. Estas apresentam-se em desenho fruto das leis de privacidade que vigoram no Reino Unido, sendo os retratos da autoria de um dos membros da equipa de investigação do presente estudo.

3.3 Descrição da equipa

O desenvolvimento de qualquer projeto que queira realmente trazer criar valor e ser bem construído em todos os seus aspetos requer uma equipa multidisciplinar, sendo nesse sentido que a equipa de investigação foi construída. Tentando cobrir da forma mais apropriada os campos de maior interesse que envolvem o presente projeto, a equipa é

formada por: Uma equipa de uma empresa especializada em equipamentos médicos, uma equipa de médicos especialistas no procedimento cirúrgico da Laparoscopia, de Itália e do Reino Unido, e investigadores na área da HCI da Universidade de Aveiro. Desta forma passa a existir um foco constante em diversas temáticas em simultâneo, o que beneficia o desenvolvimento. Com uma constituição da equipa nestes moldes, torna-se possível delegar funções específicas a cada um dos integrantes, dando cobertura a todos os princípios mandatários do projeto. Os objetivos passam por produzir um produto tecnológico que se destaque não apenas pelas funções que apresenta, mas também por outros fatores mais abrangentes. É desejado um modelo de interação diferenciado, funcional e apelativo, representando vantagens significativas para a atividade médica, sendo que tal só se torna verdadeiramente possível com uma equipa multi-disciplinar. Para além deste aspeto, na constituição da equipa constam também profissionais com diferentes graus de formação e proveniência, tornando a experiência mais rica para todos os elementos.

Relativamente à participação direta de dois médicos no projeto, esta baseia-se na metodologia de UCD escolhida para o desenvolvimento. Com o contributo destes profissionais ganha-se um alicerce importante no que diz respeito ao conhecimento de causa, à realização de testes, ao retirar conclusões e à avaliação sistemática das evoluções do projeto. A respeito da sua proveniência, visto este ser um projeto desenvolvido em parceria com uma empresa privada, os mesmos são oriundos dos seus quadros.

4. Protótipo exploratório

Procurando iniciar o desenvolvimento de soluções protótipadas, era necessário para a equipa fazer um levantamento de dados prévio que, para além de certificar as possibilidades da realidade aumentada, se pudesse partir para uma abordagem já mais direcionada e fundamentada. Neste sentido, e respeitando a metodologia escolhida para todo o projeto, foi definido que antes de apresentar uma primeira solução aos médicos, estes deveriam ser postos em contacto com um sistema de realidade aumentada e deveria ser feito um levantamento de dados junto dos mesmos. Seria necessário introduzi-los no meio, envolvendo-os e confrontando-os com este tipo de sistema, de forma a que, para além de conhecê-lo, pudessem igualmente dar a conhecer a sua opinião. Só assim seria possível perceber de forma clara as potencialidades que estes lhe reconheciam.

Neste sentido, foi definido um guião de entrevista (tabela 1) semi-estruturada a realizar nesta primeira aproximação à equipa de médicos, procurando resposta para questões de interesse para a equipa de desenvolvimento.

1. Apresentar o conceito de RA à equipa médica
2. Discutir vantagens, desvantagens, dificuldades e problemas que um eventual sistema de navegação baseado em RA enfrenta num cenário real
3. Conhecer as principais etapas do procedimento cirúrgico
4. Conhecer as técnicas de navegação usadas pela equipa médica
5. Identificar conjunto de funcionalidades para o sistema

Tabela 1 - Guião de entrevista semi-estruturada para apresentação do protótipo exploratório

Dependendo das reações apreendidas nesta primeira abordagem, seria possível não apenas introduzir os médicos às tecnologias de RA, mas também comprovar as suas potencialidades para a tarefa, avançando assim de forma mais fundamentada, assegurando desde logo uma proximidade e afinidade entre o utilizador e o produto.

4.1 Desenvolvimento do Protótipo exploratório

Passando a idealizar o desenvolvimento do referido protótipo preliminar, pretendia-se que este tivesse um carácter meramente experimental e exploratório. Como referido, a grande maioria dos médicos não se encontrava perfeitamente familiarizada com o conceito e possibilidades da realidade aumentada e muito menos com a experiência conseguida por estas tecnologias. Para além do mais, o uso de um HMD teria de ser posto à prova, certificando-nos de que a utilização deste dispositivo não tiraria conforto ao utilizador, quer fisicamente, quer na imersão numa abordagem tridimensional aumentada.

4.1.1 Objetivos

Com vista então numa aproximação ao utilizador deste tipo, a escolha da equipa recaiu em realizar estes testes com recurso a marcadores fiduciais. Uma abordagem deste tipo deveria permitir um registo bastante preciso e teria capacidade suficiente para elucidar os médicos, apresentando esta solução como a mais simples e também a menos dispendiosa. Apesar de não apresentar um alto patamar técnico, esta encaixava-se perfeitamente nos propósitos definidos. Os fundamentos destes protótipo não se relacionavam com aspetos tecnológicos, mas sim na perceção de como uma abordagem deste género era encarada. Interessava perceber como seria esta relação com o espaço físico e esclarecer os médicos sobre as possibilidades de verem objetos virtuais dentro do corpo humano. À data ainda não haviam certezas sobre qual a melhor abordagem de registo a utilizar, pelo que para estes testes a escolha foi pela opção mais imediata.

Como protótipo preliminar, a abordagem pretendida teria uma estrutura bastante simples, sendo desenvolvido em Unity3D e Vuforia e composto por um cenário do modelo 3D de um rim, do sistema circulatório e de objetos virtuais correspondentes a hipotéticos elementos que o médico introduziria no sistema antes da operação. A interação com o sistema passaria pela apresentação de código fiduciais aos utilizadores, sobre os quais estes veriam aumentos digitais tridimensionais ao olhar na sua direção.

Sucintamente, pretendia-se tornar os utilizadores capazes de experimentar a tecnologia, melhorando o seu conhecimento ao mesmo tempo que os aproximava da solução idealizada para o sistema e a equipa usufruía de feedback espontâneo sobre o caminho a seguir.

4.1.2 Arquitetura do sistema

Tendo em posse um HMD equipado com uma câmara, a solução descrita passava por uma arquitetura relativamente simples, estando esta representada no diagrama da figura 17.

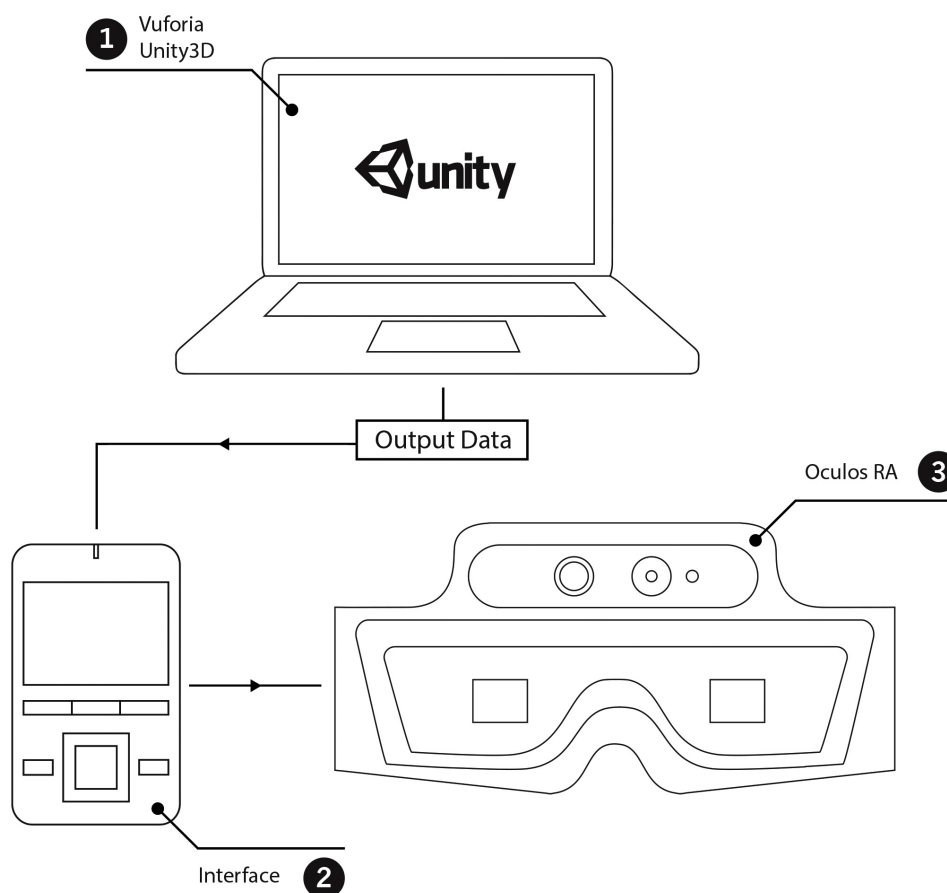


Figura 17 – Diagrama de montagem do protótipo exploratório

1. Computador

A escolha quanto ao computador que deveria ser adquirido para o projeto recaiu sobre um HP OMEN, um portátil de grande poder computacional e ideal para a mobilidade do projeto. De entre as várias opções disponíveis no mercado, e de acordo com as especificidades do projeto, era dada primazia a componentes como a RAM, o processador e placa gráfica, pelo que esta foi uma escolha que deixou a equipa satisfeita.

Servindo esta máquina como o cérebro de todo o projeto, onde operaria o software Unity3D - plataforma de renderização tridimensional que requer grande capacidade de processamento -, a sua escolha acertada era um fator preponderante. A esta seriam, direta ou indiretamente, integrados todos os componentes do sistema, tornando os módulos adicionais inúteis sem a sua presença. Apesar de todos eles serem importantes,

sem o computador para os interpretar e traduzir em ações através do Unity, não serviriam de nada.

1. Computador / Unity3D

Propriedade da Unity Technologies, o Unity3D é um engenho computacional categorizado com um motor de jogos 3D. Apresentando uma fascinante capacidade de exportar os projetos construídos para múltiplas plataformas, e possibilidades de expansão ímpares, o Unity tem registado uma evolução assinalável. Este revela-se uma plataforma sólida, inovadora e em constante evolução, transmitindo à equipa a segurança necessária para a escolha desta plataforma.

Quer nesta fase de desenvolvimento dos sistemas de inputs, quer na fase posterior de fusão de realidades, a opção pela plataforma Unity revelou-se sempre uma excelente escolha. Capaz de facilitar a manipulação de elementos digitais e até de executar tarefas de sistema mais complexas, a plataforma apresenta-se como extremamente versátil, especialmente pelas referidas capacidades de expansão. Estas facilidades oferecidas diferenciam o Unity por completo, visto que com uma integração facilitada de outras tecnologias se eliminam uma grande parte das limitações técnicas, tornando possível uma “mistura” tecnológica diversificada. Caso uma funcionalidade pretendida não exista nativamente no software, basta ao *developer* programá-la e ela tornar-se-á de imediato utilizável, podendo fazer este desenvolvimento ser feito em três linguagens à escolha - JavaScript, C# ou Boo.

1. Computador / Unity3D + Vuforia

Fazendo do Unity a plataforma de suporte central do projeto, a equipa passou desde logo a usufruir das suas capacidades de expansão, adicionando ao projeto o *package/*extensão Vuforia para fazer o reconhecimento de códigos fiduciais.

O Vuforia é um *Software Development Kit* (SDK) de realidade aumentada para dispositivos móveis, propriedade da Qualcomm Connected Experiences, Inc., criado para facilitar o desenvolvimento de aplicações de realidade aumentada. Este usa métodos de

visão por computador para reconhecer e seguir imagens planas e objetos 3D simples, fazendo-o em tempo real, o que permite um registo para RA bastante preciso e responsivo. O Vuforia apresenta vários fatores que justificam a sua popularidade como um dos SDK's mais utilizados. Entre estas vantagens podem ser referidas a qualidade no registo, uma fácil implementação e manuseamento, a utilização de fiduciais personalizados e especialmente o facto de ser um ferramenta de uso gratuito. No caso do presente projeto, a sua maior virtude, aquela que motivou a escolha, deve-se a sua excelente integração a plataforma Unity.

2. Interface (Moverio BT + conversor vídeo)



Figura 18 – Interface Moverio BT-100

Utilizada para proporcionar a projeção da imagem renderizada pelo Unity para os óculos de RA, esta interface surge da mistura entre uma Interface Moverio BT 100 – fabricada pela Seiko Epson Corporation – e um conversor de vídeo digital para analógico convencional.

Correndo o sistema Android versão 2.2, este serve para fazer a ponte do sinal vídeo entre o Unity e os óculos, sintetizando a vista criada pelo Unity - dividida em duas metades, uma para cada olho – para criar uma visão estereoscópica. Assim sendo, apenas com o uso deste dispositivo intermédio é possível obter o efeito estetoscópio dos óculos, onde é criada uma sensação de tridimensionalidade nos aumentos digitais.

O sinal vídeo sai do computador através da sua porta HDMI e segue para o conversor deste módulo integrado, entrando igualmente na porta HDMI. Após a conversão do sinal vídeo analógico este é comunicado para o Moverio BT 100 que posteriormente o transmite aos óculos.

Funcionalmente idêntico a um *smartphone* com o sistema operativo Android, o dispositivo Moverio diferencia-se essencialmente deste tipo de aparelhos por aspetos relacionados com a forma como permite a interação. Ao contrário dos dispositivos mais comuns, este não tem qualquer display ou teclado alfanumérico, sendo estes substituídos por um *touchpad* e alguns botões de navegação e funcionalidades específicas. Assim sendo, e pela falta de um display, a única forma de acompanhar o resultados da interação no sistema é através da ligação vídeo aos óculos, com estes a servirem de display. Em caso de haver algum dispositivo a transmitir imagem ligada ao conversor e essa imagem seja desejada nos óculos – como é o caso do sistema proposto - basta aceder à aplicação “Switch Input” instalada no sistema Android e alterar o input de vídeo para a fonte externa.

3. Óculos de Realidade aumentada see-through



Figura 19 – Óculos de realidade aumentada Meta1

Os óculos de realidade aumentada utilizados no projeto (Figura 19) tratam-se dos SpaceGlasses, Meta 1 Developer Kit, desenvolvidos pela empresa Meta. Como um HMD *see-through*, a sua principal função trata-se de permitir a projeção de elementos digitais

numa superfície das suas lentes, formando no campo de visão do utilizador a ideia de uma realidade mista, fruto da sobreposição destes elementos em relação à vista do real. Desta forma, e como descrito no ponto anterior, este display recebe a imagem disponibilizada pela interface (ponto 2), apresentando esse conteúdo ao utilizador.

Para além dos projetores laterais que proporcionam a experiência imersiva, o dispositivo encontra-se equipado com outras tecnologias importantes, como uma câmara e um IMU. Servindo este último para recolher informação sobre as rotações efetuadas pela cabeça do utilizador, proporcionando as vistas corretas, a câmara, por sua vez, recolhe imagens do campo de visão do utilizador. Para esta fase de desenvolvimento do protótipo, apenas a câmara está a ser utilizada, sendo o sensor IMU deixado desligado. Assim sendo, a imagem recolhida pelo HMD é aquela que é utilizada pelo Vuforia, desencadeando todo o referido processo de projeções digitais.

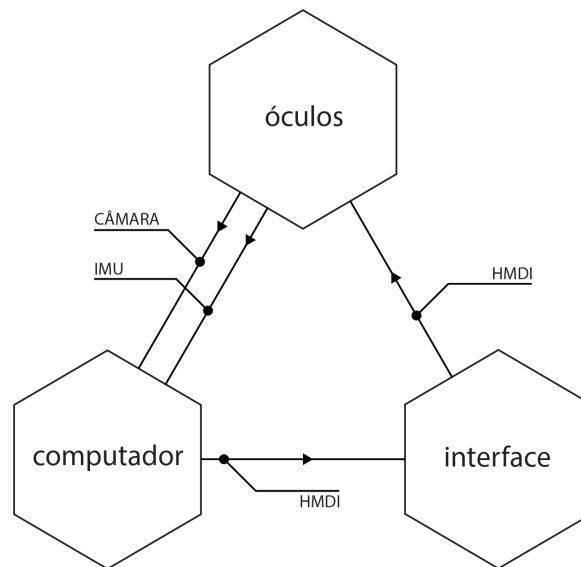


Figura 20 – Esquema de montagem básica dos óculos RA

Como representado no diagrama de montagem do HMD (Figura 20), a ligação da interface aos óculos é apenas num sentido (interface-óculos), sendo os restantes componentes ligados diretamente ao computador do projeto. Uma montagem deste género permite ao computador receber as imagens capturadas como vindas de um dispositivo independente o que, para o desenvolvimento em Unity, representa uma enorme facilidade.

Pelo exposto, e em suma, a utilização deste dispositivo tem um papel chave, servindo tanto para fazer a recolha do campo visual do utilizador como para projetar os aumentos digitais, que irão funcionar como sobreposições deste real.

4.1.3 Descrição de desenvolvimento

Iniciando o desenvolvimento deste protótipo preliminar, foi feita uma pesquisa sobre quais as *frameworks* de desenvolvimento de realidade aumentada baseada no uso de fiduciais que apresentaria mais vantagens de utilização. Essencialmente, era procurada uma ferramenta que reunisse três aspetos considerados fundamentais:

- Boa qualidade de registo;
- Possibilidade de integração o Unity;
- Facilidade de implementação;

Visto todos os aspetos do projeto terem como núcleo a plataforma Unity, a escolha de uma *framework* de registo fiducial não poderia tomar outro caminho, obrigando assim a uma redução do número de possibilidades. Do ponto de vista da qualidade do registo, apesar de os aspetos tecnológicos não serem de todo um ponto fundamental para esta fase de testes, interessava oferecer um protótipo com um bom *tracking*. Uma abordagem mais leviana e despreocupada neste aspeto podia comprometer seriamente os resultados e a relação dos médicos com a tecnologia a oferecer, não podendo a equipa correr esse risco. No entanto, um registo que apresentasse bons resultados mesmo que necessitando de condições ideais – por exemplo, boa luz – seria o suficiente. A respeito da facilidade de integração pretendida, este era um aspeto que pretendia agilizar a prototipagem. Havia outras questões a resolver e a possibilidade de ter uma abordagem mais facilitada era um ponto procurado.

Como solução para os referidos princípios básicos, as escolhas recaíram sobre duas das ferramentas que ofereciam melhores garantias: Vuforia e Metaio. Tendo estas duas hipóteses em vista, restava apenas realizar uma análise comparativa, integrando ambas as *frameworks* no projeto e testando-as individualmente. Realizados apenas internamente, estes testes serviram para por à prova os nível da qualidade do registo,

responsividade e facilidade de utilização de cada uma das ferramentas. Os resultados finais foram bastantes semelhantes, sendo a facilidade de utilização, onde o Vuforia sobressaiu, o ponto realmente distintivo. A aidez com que era possível adicionar novos códigos ao sistema tornou-se no fator de desempate, muito por força da componente experimental desta fase do projeto, onde poderiam surgir varias alterações a este nível. Igualmente capaz de uma rápida e fluída integração com o Unity, o Vuforia mostrou-se sempre uma escolha acertada, tornando-se ainda mais evidente a felicidade da escolha com o lançamento, um pouco depois, da sua versão *Digital EyeWear*. Este novo lançamento trouxe algumas melhorias visto ser concebido especificamente para óculos de RA, ao contrário da versão anterior, mais generalista, que cobria uma vasta gama de dispositivos móveis.

Terminado o período de escolha e implementação do Vuforia seguia-se a configuração da *framework*, a fim de realizar as tarefas delineadas. Como já referido na especificação de objetivos destes testes, as suas rotinas seriam extremamente simples. O utilizador deveria colocar o HMD, sendo entregues ao utilizador alguns códigos fiduciais, os quais ele deveria colocar dentro do seu campo de visão de forma a experienciar uma fusão de realidades. A câmara integrada nos óculos captaria uma grande parte do campo de visão do utilizador, que seria examinada pelo Vuforia a fim de identificar a presença de algum dos fiduciais do sistema – predefinidos pela equipa. Em caso de encontrar, a modelação correspondente ao código aparecia sobre ele.

De forma a conseguir este funcionamento, a equipa progrediu na implementação do Vuforia, seguindo todos os passos de configuração fornecidos pela entidade criadora. Após terminada a correta implementação da ferramenta no Unity, pouco restava à equipa para além de colocar os modelos tridimensionais sobre os fiduciais correspondentes e relaciona-los. Dependendo da posição do modelo em relação ao fiducial no mundo tridimensional digital, essa mesma relação de posicionamentos entre ambos os elementos iria-se refletir na projeção final combinada.

4.1.4 Resultados

Apresentado aos médicos como um primeiro contacto com as possibilidades da realidade aumentada, o feedback recolhido foi extremamente animador. Esta era uma fase crítica para todo o projeto visto que, de forma geral, tinha como principal objetivo validar a utilização de realidade aumentada nos procedimentos clínicos. Como descrito atempadamente nos objetivos deste protótipo, a avaliação ia decorrer num registo de entrevista, onde haviam pontos específicos a abordar. Contudo, uma não aceitação de um sistema de RA poderia desde logo terminar com os objetivos do projeto, o que tornou os resultados obtidos num marco importante.

1. Apresentação do conceito de RA à equipa médica

A apresentação do conceito de realidade aumentada foi bem sucedida, com este tipo de abordagem a ser recebido com entusiasmo. Durante a demonstração do protótipo preliminar, o médico usou e testou o sistema, sendo-lhe explicada a possibilidade de num sistema de RA o médico poder explorar tridimensionalmente vários pontos de vista do rim, bem como de o relacionar espacialmente com o hipotético corpo do paciente.

Este processo de experimentação permitiu, portanto, que fossem desde logo compreendidas algumas das possibilidades de visualização e toda a interatividade e dinamismo em que o sistema poderia resultar. Com estas perceções passaria a ser possível recolher opiniões mais conhecedoras, estabelecendo as primeiras apreciações e preparando assim a introdução das próximas questões.

2. Discussão das vantagens, desvantagens, dificuldades e problemas que um eventual sistema de navegação baseado em RA enfrenta num cenário real

Ao longo da sessão foram abordadas as várias propriedades da RA, sendo estas comparadas com os sistemas de navegação atualmente usados nas cirurgias pela equipa médica.

Relativamente às principais vantagens de um sistema de RA estas seriam:

- **Vista aumentada no interior do paciente (mapeamento)** - A visualização da agulha e do órgão no interior do paciente com possibilidade de explorar, em tempo real, vários pontos de vista. Este aspeto revelou ser muito importante para o médico, pois a introdução da agulha nos sistemas convencionais - baseados em imagiologia raio-X e ecrãs bidimensionais - força o médico a realizar operações mentais de remapeamento na orientação da imagem;
- **Camada de informação pré-definida** - A possibilidade do sistema admitir uma camada de informação pré-definida pela equipa médica e especializada tridimensionalmente;

A respeito das principais desvantagens, estas relacionavam-se com as limitações impostas pelo reduzido campo de visão dos óculos de RA *See-through*. Contudo, o facto do sistema permitir liberdade de movimentos, dando a possibilidade ao médico de se movimentar em redor do rim, foi descrito como um fator atenuante desta importante limitação.

3. Apresentação às principais etapas do procedimento cirúrgico

O médico apresentou, em linhas gerais, as etapas que integram o procedimento cirúrgico. Numa sessão que se realizaria posteriormente e numa fase mais avançada deste estudo, a equipa de investigação teve oportunidade de assistir presencialmente no Hospital de Oxford ao procedimento cirúrgico e conhecer em detalhe as várias etapas que o constituem. A descrição desta visita foi apresentada no capítulo anterior.

4. Apresentação às técnicas de navegação usadas pela equipa médica

Tal com no ponto anterior, foi apresentada de forma sucinta a técnica de visualização e navegação da introdução da agulha no rim, baseada em imagiologia raio-X em tempo real. Esta técnica, recorrendo a uma substância inserida por via de um cateter através da uretra, cria contraste na visão raio-X, fazendo com que o rim e a agulha se

tornem visíveis num ecrã convencional. Todavia, este processo é, na fase do pós-operatório, doloroso e desconfortável para o paciente.

Além do problema de mapeamento - já referido como vantagem -, o facto do sistema ser bidimensional dificulta o percurso da agulha e aumenta o risco de esta intercepar uma região do corpo imprevista.

5. Identificação de um conjunto de funcionalidades para o sistema

No final da sessão planeou-se o trabalho futuro para o desenvolvimento de um novo protótipo. Foi acordado que uma funcionalidade importante seria dar a capacidade ao médico de controlar, em tempo real e no decorrer da cirurgia, as várias camadas de informação visual. Deveria ser possível controlar elementos tais como o órgão, tecidos, veias e artérias, e meta-informação tal como guias visuais ou hotspots virtuais colocados estrategicamente no cenário 3D.

Por fim, discutiu-se também a possibilidade de usar outras formas alternativas de *registration*, além das que são baseadas em câmaras (Vuforia) e a possibilidade de substituir a técnica de raio-X por sistemas de visualização baseados em ultra-som (ecografia).

Terminada a exposição do trabalho desenvolvido para o protótipo preliminar, o próximo capítulo irá descrever o todo o processo relacionado com o desenvolvimento e avaliação dos sistemas de input para o sistema.

5. Sistema de input

O bloco operatório, como descrito no capítulo três, é um local com características ímpares, requerendo atenção especial para vários aspetos e não apenas para as funcionalidades que o sistema a desenvolver deve apresentar. Por si só, a dificuldade inerente à criação de um qualquer produto médico já é elevada, pela precisão e minúcia exigidas, mas a introdução de tecnologias que moldem ou de certa forma transformem processos enraizados torna o processo mais crítico. Por tudo isto, todo o planeamento e ponderação feito em torno das possibilidades de interação com o sistema, através de mecanismos de input, foi cautelosamente suportado pelos dados recolhidos pela equipa de investigação.

Todos os métodos de investigação utilizados pela equipa, tais como a presença na sala de operações durante a intervenção, a revisão da literatura, as entrevistas exploratórias preliminares e até as conversas informais com os clínicos deram a conhecer uma grande variedade de aspetos. Estes tornaram-se fundamentais para as escolhas nesta fase de opção entre mecanismo de input (manipuladores) do projeto, sendo estas informações as bases com as quais se passou à construção de um protótipo que os pusesse em prática.

5.1 Desenvolvimento do sistema de input

Tratando-se de um produto interativo, era importante definir que tipos de input seriam os mais indicados para permitir tal interatividade, testando sobretudo a sua viabilidade. A natureza dos manipuladores poderia ser somente digital ou precisaria igualmente de componentes físicos, o que trouxe para esta fase do projeto a necessidade de dar respostas a outras questões. Se por forma da simples existência de uma interação Humano-Computador se levantam conceitos como a utilidade e usabilidade do sistema, a incorporação de componentes físicos obriga a que seja dado ênfase a outras variáveis como, por exemplo, o mapeamento desses componentes. Esta é uma questão recorrente na interação física, mas a sua conjugação com elementos e manipulações digitais desperta atenção extra. É fundamental que as interfaces físicas sejam úteis e intuitivas sem que se tornem obstrutivas, especialmente num ambiente tão peculiar como é o do bloco operatório.

5.1.1 Objetivos

Tendo em contas estas condicionantes, a equipa de desenvolvimento colocou os seus esforços na conceção deste primeiro protótipo funcional, procurando dar resposta àquelas que considera serem questões básicas para o sucesso do produto, nomeadamente:

- Compreender como o médico interage com o espaço e o sistema;
- Propor várias alternativas de sistema de input;
- Avaliar a utilização de sistemas deste tipo por parte dos clínicos;

Perceber o meio é um aspeto fundamental, mas perceber apenas o espaço não é o suficiente. É necessário ter uma perceção clara de como os intervenientes manipulam a tecnologia, como esta pode ser melhor integrada nas suas rotinas e que funcionalidades a podem tornar mais efetiva. Por tudo isto, a construção de um protótipo tornou-se desde logo um dos pontos chave do processo. Dar a testar ao médico várias opções de interação, recolhendo a sua opinião e até pela própria observação de tal experiência, revela-se uma recolha de informação extremamente proveitosa. Existindo desde início

questões às quais a equipa prestou atenção, tais como o referido mapeamento, o feedback e a visibilidade do sistema, foi sempre entendido com clareza que, para além de melhorar estes aspetos, haveriam outros que apenas o médico poderia apontar. Só o próprio é capaz de identificar qual a forma de interação que melhor se adapta à tarefa e que aspetos o sistema poderia ter mais ou menos em conta, com a possibilidade de experimentação a ser elucidativa para ambas as partes.

Foi então com vista numa abordagem deste tipo, mais auto-explicativa, que se idealizaram módulos de hardware capazes de desempenhar manipulações do sistema através de abordagens distintas. Para o efeito, foram desenvolvidos quatro sistemas de input :

- 1) Voz;
- 2) Pedais;
- 3) Manipuladores de rotação;
- 4) Teclas/botões;

Toda esta variedade de sistemas de input a testar seriam importantes não apenas para eleger um único mecanismo de input, mas igualmente para perceber a variedade de soluções que poderiam ser encontradas. A conjugação de mecanismos de interação era uma solução que se afigurava provável, portanto, era do interesse da equipa poder testar quais dos arranjos funcionaria melhor.

Em suma, e considerando tanto os aspetos afetos à integração física dos inputs no ambiente como também a sua utilidade prática, o objetivos deste protótipo passavam por esclarecer, por meio de testes experimentais e entrevista, alguns pontos fundamentais, tais como:

1. Facilidade de mapeamento
2. Familiaridade com os mecanismos oferecidos
3. Pertinência dos inputs disponibilizados
4. Relevância de manipulações analógicas e digitais

Tabela 2 - Guião de entrevista semi-estrutura realizada no decorrer dos testes do sistema de input

5.1.2 Arquitetura do sistema

Assim sendo, o protótipo foi criado assente numa arquitetura modular (Figura 21), de forma a permitir que a interação com os modelos tridimensionais e a ativação de funcionalidades pode-se ser feita através dos vários tipos de input disponibilizados. Desta forma tornar-se-ia possível perceber qual das abordagens seria a mais adequada e de que forma estas podiam ou não ser melhoradas, percebendo logo à partida a viabilidade da sua utilização. Esta filosofia de protótipo modular revelou-se inclusivamente um aliado no processo de desenvolvimento, pois todos os módulos funcionaríamos separadamente.

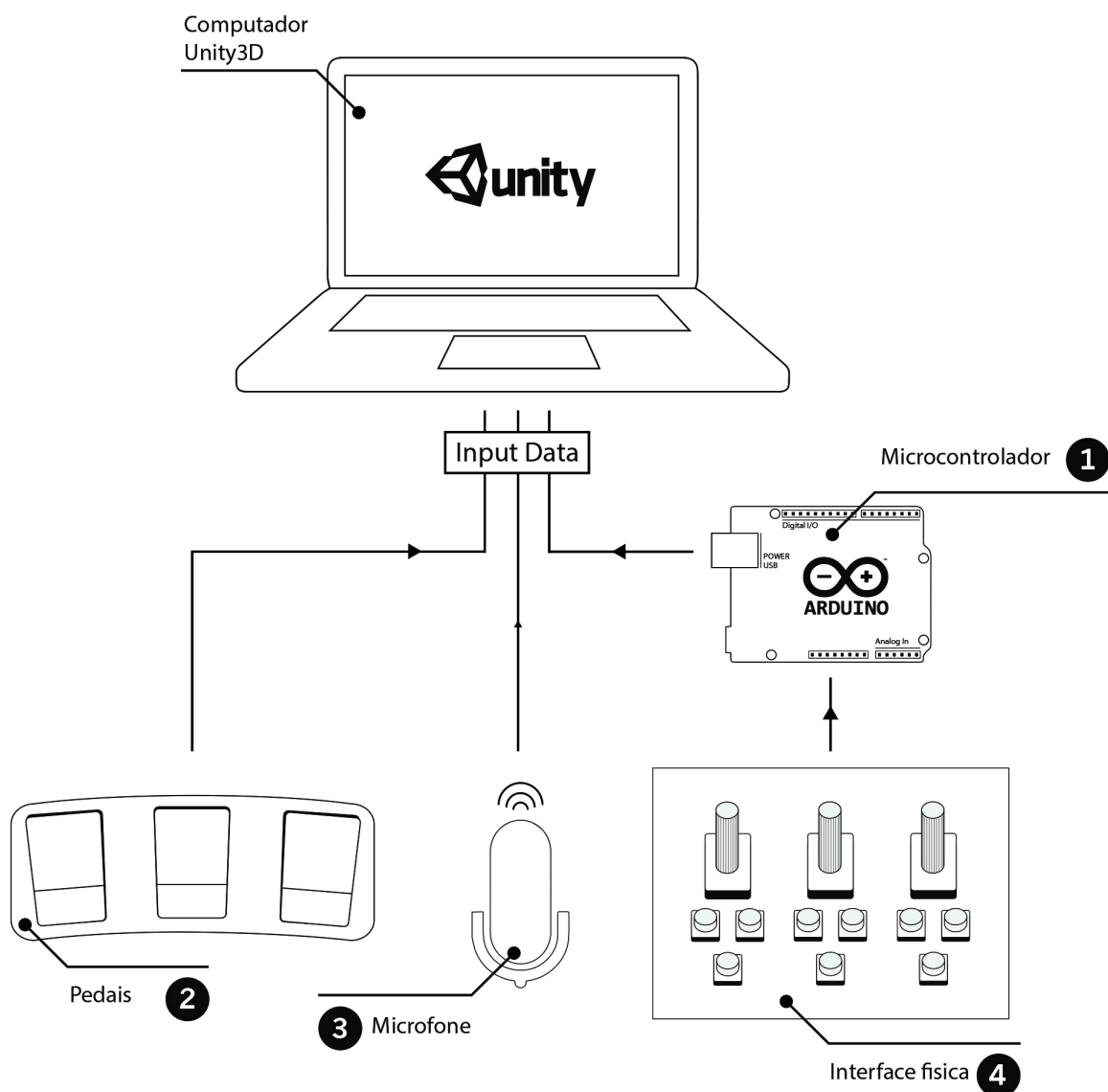


Figura 21 - Diagrama do protótipo de sistemas de input

À exceção do computador, todos estes módulos poderiam ser adicionados, remapeados, corrigidos ou simplesmente removidos individualmente, sem que isso compromettesse a funcionalidade do sistema. Tendo sido a escolha do tipo de componentes a utilizar – analógicos ou digitais - uma tarefa onde foi despendida grande atenção da equipa, a escolha exata de quais deveriam ser utilizados seguiu esta mesma linha.

1. Microcontrolador

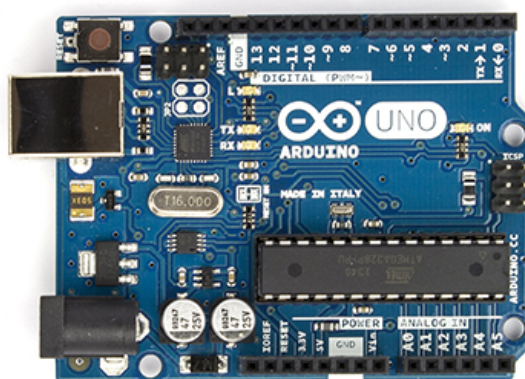


Figura 22 – Microcontrolador Arduino Uno R3

Relativamente ao microcontrolador, a opção da equipa passou por utilizar um Arduino Uno R3 (figura 22), uma plataforma de computação física, *open-source* e com ciclos de processamento em tempo real.

Ideal para fins de prototipagem, e sendo este um projeto com forte vertente experimental, esta solução revelava-se consistente e ao mesmo tempo versátil, permitindo a fácil integração de novos inputs ou o re-arranjo dos já propostos em futuras iterações. Para além destas características, este dispositivo apresenta ainda inúmeras outras vantagens, tornando esta opção ainda mais apetecível. O seu baixo consumo, as suas dimensões reduzidas, a facilidade na escrita de código e especialmente as capacidades de comunicação que oferece eram fatores que enquadravam este dispositivo como poucos, ou até nenhum, no presente projeto.

Dotado tanto de entradas simples de input/output (I/O) como de entradas analógicas, este poderia facilmente fazer a aquisição de dados dos componentes físicos a

utilizar e enviá-los para o computador por comunicação Serial, através da porta USB que o próprio microcontrolador também disponibiliza. A construção da interface física iria requerer em manipuladores físicos que não seriam nativamente suportados pelo computador, tendo então o Arduino uma papel fundamental na tradução do estado físico destes elementos em informação legível e significativa digitalmente.

2. Pedais



Figura 23 – Módulo de pedais utilizado no protótipo

A respeito do módulo de pedais, fruto de imposição da entidade médica parceira, a escolha não foi totalmente livre. Para a utilização deste tipo de produtos existia a exigência de certificação médica, o que reduziu em grande escala o leque de opções disponíveis.

O material adquirido – Foot Switch - continha três pedais que funcionavam com simples botões, permitindo apenas perceber se foram pressionados ou não, com um funcionamento semelhante ao de um teclado de computador. Baseado neste tipo de funcionamento, este módulo gerou algumas limitações ao nível das oportunidades de interação. Existia a curiosidade de testar manipulações fluídas e mais minuciosas através dos pedais – à semelhança do que acontece com os manipuladores de rotação – mas, funcionando como simples botões, não seria possível a experimentação deste tipo de input mais dinâmico.

Este jogo de pedais, no entanto, permitia uma utilização imediata com dispositivos que contassem com uma entrada USB, pelo que este foi diretamente integrado com o computador.

3. Microfone

Relativamente a escolha deste aparelho não existiram considerações especiais para além do seu tamanho. Apesar de a qualidade da recolha de som – nitidez e eliminação de ruído – serem fatores a ter em conta neste tipo de dispositivos, julgou-se despropositado tal aprofundação sendo esta uma fase experimental. Visto que nos testes, independentemente do dispositivo, se podiam simular determinadas condições, não se justificava tal investimento em algo, na altura, meramente experimental.

Este deveria integrar o protótipo de forma discreta, sendo anexado ao óculos aquando de uma montagem final do sistema e, à imagem do módulo de pedais, seria ligado diretamente ao computador, fazendo uso da entrada para microfones externos. Por sua vez, o Unity estaria a espera de receber o som por si recolhido, a fim de identificar os comandos de voz.

Sendo esta uma fase de desenvolvimento somente do sistema de input, o microfone foi colocado no utilizador num local próximo daquele que viria a ocupar no protótipo final.

4. Interface física

A interface física foi construída de raiz a partir de componentes de eletrónica standard, como botões e potenciómetros – manípulos de rotação -, que a equipa tinha à disposição, a fim de permitir testar interações de vários tipos, quais os melhores mecanismos e perceber de que forma o seu mapeamento poderia vir a ser melhorado.

Esta foi pensada para ser o menos complexa possível, o que se tornou possível graças a uma organização cronológica das tarefas bem estruturada, tendo sido primeiramente delineadas as manipulações que executariam e só depois construída.

Desta forma, os inputs disponibilizados passaram a estar em conformidade com as tarefas a despoletar, sendo igualmente possível oferecer uma solução versátil que pudesse testar várias abordagens. Assim, graças a um desenvolvimento estruturado esta permitiria, por exemplo, testar dois tipos de interação distintos: uma interação mais contínua e fluída através da rotação de manípulos, ou uma mais discreta e momentânea, através do simples pressionar de botões.

Como referido, este tipo de componentes não teria integração direta com o computador, necessitando portanto de serem integrados com o microcontrolador para assim haver uma leitura digital do seu estado e valor. Posteriormente, e após a interpretação destes valores pelo Arduino, a informação segue o procedimento já descrito, sendo enviada para o computador através de comunicação Serial.

5.1.3 Descrição de desenvolvimento

Feita a escolha das ferramentas a utilizar, os esforços voltaram-se para o teste das mesmas funcionando em conjunto, de forma a atestar a fiabilidade das opções tomadas. Estando definido o objetivo de oferecer um maior número de inputs físicos, tornou-se antes de mais importante perceber até que ponto a união entre ferramentas seria funcional, mesmo antes de despender esforços na escolha de componentes mais específicos. Seria necessário, antes de tudo, perceber como seria possível criar um canal de comunicação entre o Arduino e o Unity que fosse suficientemente sólido para o projeto. Desta forma, o primeiro passo para o desenvolvimento foi a criação do código base necessário para estabelecer uma ligação entre estes dois elementos e testar o envio simples de valores.

Esta fase inicial de testes de união das ferramentas foi relativamente curta, mas bastante animadora. Resultados desejáveis a nível de performance e estabilidade começaram a ser obtidos rapidamente, o que permitiu desde logo prosseguir para decisões mais funcionais. A partir daqui poderiam começar a ser testados inputs, estudada a criação do protocolo de comunicação, a serem simuladas interações físicas com modelos digitais e pensadas novas possibilidades que enriquecessem o sistema.

Objetivamente, o protótipo começaria agora a ganhar forma, sendo necessário estruturar os próximos passos a tomar de forma a evitar conflitos desnecessários.

Pela pesquisa realizada, contributo inicial dos médicos na abordagem exploratória e intuição inicial da equipa, as primeiras decisões foram tomadas. As ideias passavam por desenvolver controlos visuais sobre os objetos tridimensionais, tais como alteração de cor e opacidade, ao mesmo tempo que se oferecia um bom feedback de todas essas manipulações e uma boa visibilidade do sistema. Aliás, estes dois pontos, juntamente com bons mecanismos de input eram alguns dos principais objetivos da equipa de desenvolvimento. Muito mais do que um vasto número de funcionalidades complexas e exuberantes, o grande interesse passava por revolucionar a interação com este tipo de tecnologias.

Após alguma reflexão passou a ser notório que o próximo passo a seguir seria definir que funcionalidades o produto deveria oferecer. O correto mapeamento dos mecanismos de input sempre foi um problema assumido, o que tornou evidente que antes de mais teria de ser feito um levantamento de funcionalidades. Apenas desta forma estes poderiam estar em concordância e a sua colocação minimizada - dentro do aceitável - tornando todo o sistema menos complexo e obstrutivo, sem nunca deixar de cumprir os seus pressupostos. A criação de interfaces físicas únicas ou a conjugação de vários módulos físicos era igualmente uma questão a dar resposta, fazendo com que fosse necessário critério na construção para poder simular ambas as situações.

Definida a base funcional do protótipo e estando focados no desenvolvimento de um produto versátil, expansível e de vanguarda tecnológica, chegava a altura de idealizar o sistema do ponto de vista estrutural e hierárquico. Tal como identificado, todo o projeto seria desenvolvido em torno da plataforma Unity, sendo criada a sua integração com os diferentes módulos desenvolvidos. O resultado deste período de idealização é representado pelo diagrama da figura 24.

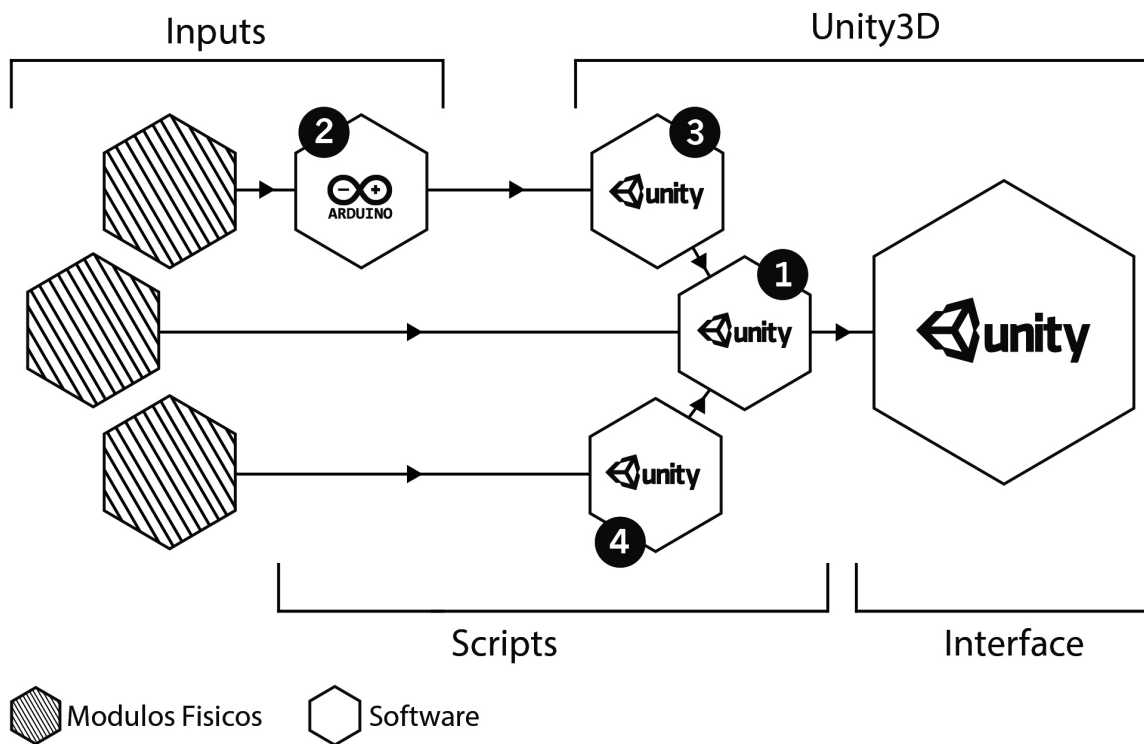


Figura 24 – Diagrama de software do protótipo de sistemas de input

1. Script/Controlador Central

Com uma variedade de módulos de input a introduzir no sistema a fim de realizarem as mesmas funções ou a funcionarem como um arranjo, era necessário encontrar um equilíbrio para o desenvolvimento. Apesar de se tratar de uma fase experimental, não bastava ao código ser funcional, mas ser igualmente eficiente e organizado, de forma a possibilitar iterações futuras menos confusas e mais robustas. Neste sentido, e adotando uma arquitetura muito próxima do paradigma OOP (*Object-Oriented-Programming*), seria desenvolvido um script para cada um dos módulos de input, com estes a interpretarem a informação recebida e a deixá-la num formato mais legível. Assim, este script/controlador central - onde estavam definidos os algoritmos das manipulação – poderia aceder a essa informação traduzida e despoletar as ações apropriadas.

Havia ficado definido que um modelo tridimensional completo teria somente três tipos de tecidos distintos (A, B e C), podendo cada um deles ser constituído por vários elementos. Assim, a manipulação seria feita por cada “camada”, onde uma ordem de manipulação teria efeito em todos os elementos que lhe pertencessem. Para tal

funcionamento fosse conseguido, apenas seria preciso adicionar uma simples modelação 3D ao projeto e atribuir-lhe um dos tipos de tecido disponíveis. Relativamente a manipulações configuráveis em aumentos bidimensionais, estas não faziam parte dos objetivos da equipa nesta fase do projeto.

De entre as manipulações de cor e opacidade disponibilizadas, pretendia-se perceber, para além da sua utilidade e mecanismos de input, como é que essas alterações se desenrolariam. Através de investigação previa do estado da arte deste tipo de tecnologia a questão das cores já se encontrava algo clara, tendo sido feita uma pré-escolha de um leque de cores – facilmente editável - que criassem alto contraste entre si. Cada um dos três tecidos teria uma das cores associada por *default*, podendo esta ser alterada para qualquer uma das outras disponíveis independentemente do momento da interação. Já no que respeitava as alterações na opacidade, era interessante perceber se deveriam ser alterações contínuas ou em intervalos definidos, o que iria também repercutir-se na escolha dos inputs a disponibilizar e respetivo mapeamento da interface física.

Definidos os referidos princípios e objetivos e pondo em prática a arquitetura de sistema pretendida, foi então desenvolvido um script de Unity, em C#, que permitisse as funcionalidades descritas e ao mesmo tempo uma fácil adoção a diferentes mecanismos de input. A dedicação a este script foi desde sempre algo encarado como necessário, pois o quão mais otimizado e versátil este fosse, mais proveitoso seria no futuro. Após terminada a primeira versão, esta foi testada e aperfeiçoada, fazendo a atribuição de cada uma das funcionalidades e suas variantes a teclas simples do teclado (Figura 25). Desta forma passaria a ser possível testar a robustez das ações e facilitar a integração de vários módulos com o mesmo script. Como referido, este funcionaria como uma espécie de “núcleo” do projeto, onde residiriam os algoritmos de todas as manipulações e definições do sistema, sendo apenas necessário fazer-lhe chegar ordens para despoletar os eventos. Estas ordens viriam de scripts periféricos, que seriam desenvolvidos para cada módulo de input que necessitasse de interpretação prévia. Por mais complexa que fosse a informação recebida esta poderia, após traduzida, ser simplesmente relacionada à tecla correspondente no script central.

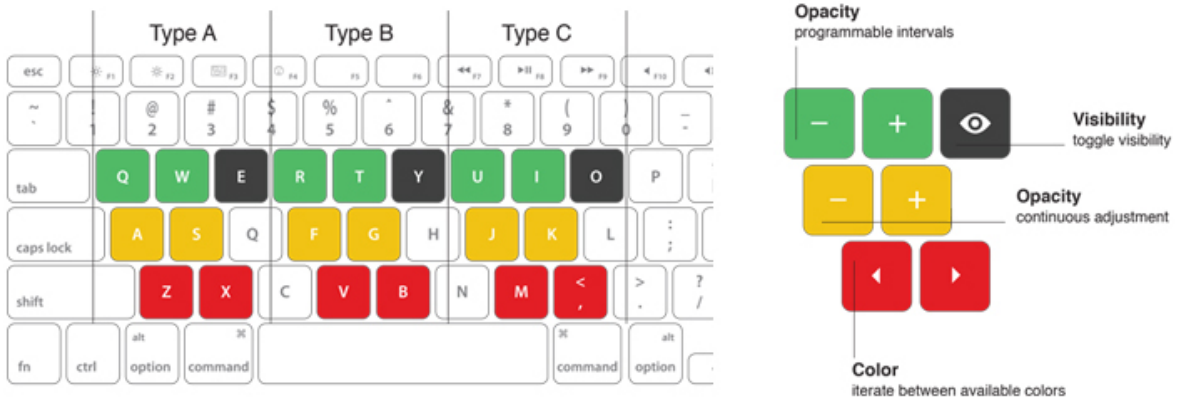


Figura 25 – Mapeamento do teclado para teste de manipulações

Outra funcionalidade importante que se desenrola neste script diz respeito à leitura direta que este faz do módulo de pedais. Embora com um lapso temporal entre o desenvolvimento deste código e a integração do módulo no sistema, o algoritmo que o interpreta encontra-se totalmente embutido no script. Ao contrário dos restantes mecanismos de input, que necessitaram de tratamento de dados prévios à chegada ao script, o módulo de pedais não o exigia. Como referido oportunamente neste capítulo, o material adquirido especificamente para o efeito tinha um funcionamento igual ao de um teclado, o que tornou de imediato a sua integração facilitada. Assim sendo, o cuidado despendido na criação do script central e o prévio mapeamento de manipulações a teclas facilitou imenso o processo, sendo apenas necessário um remapeamento do teclado.

2. Código para Microcontrolador

Estando neste ponto o sistema preparado para começar a receber a integração de vários tipos de inputs, foi altura de começar a pensar cuidadosamente no mapeamento destes últimos. Desta forma, passou-se à construção da interface física, onde esta daria resposta a todas as funcionalidades até então disponibilizadas pelo sistema. Para esta, quando terminada a construção do primeiro protótipo (Figura 26), era necessário criar o

código de Arduino que fizesse a sua leitura e enviasse os dados para o computador.

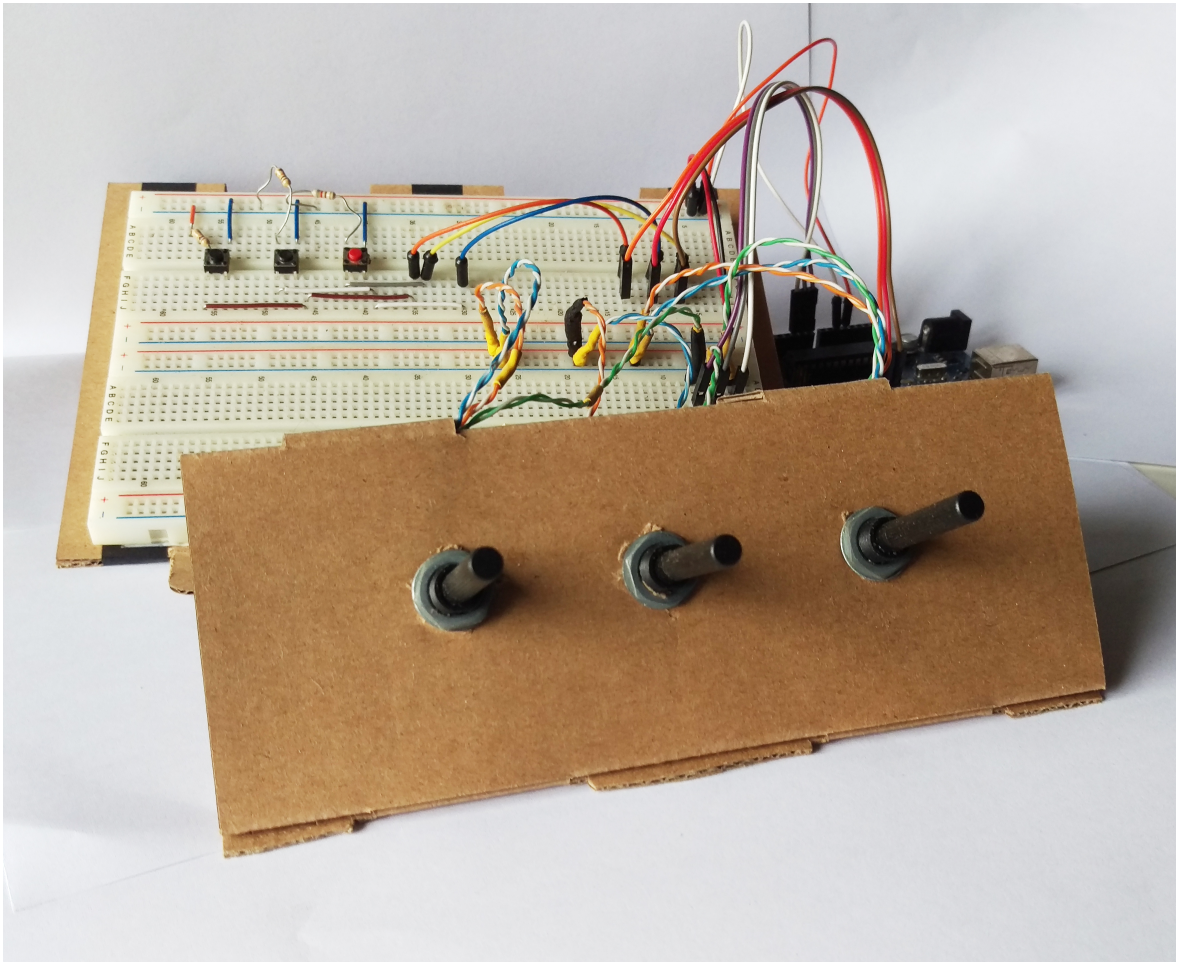


Figura 26 – Primeiro protótipo de interface física

Existindo vários manipuladores sobre os quais teria de ser enviada informação e sendo o Arduino uma plataforma de processamento de ordens sequenciais em tempo real, houve desde logo a dúvida de como deveria ser feita a comunicação. Das duas abordagens possíveis – enviar valor a valor ou aglomerar e enviar tudo após a última – a escolha recaiu sobre enviar um *token* único contendo toda a informação. Qualquer uma das duas abordagens iria necessitar de especificação de lógica de envio após chegar ao Unity. No entanto, com uma abordagem deste tipo havia a certeza de que todas as manipulações seriam executadas em simultâneo, no caso de serem usados dois manipuladores ao mesmo tempo.

Definida a lógica/protocolo de comunicação que iria ocorrer entre microcontrolador e Unity, era necessário reverter esse raciocínio neste último, de forma a atribuir corretamente os valores aos parâmetros correspondentes.

3. Script de comunicação e interpretação do microcontrolador

Seguindo esta linha metodológica de desenvolvimento, o passo seguinte passou pela criação de um script de comunicação com o Arduino mais consistente e dinâmico que o utilizado nos testes iniciais de união de ferramentas. Este, igualmente desenvolvido em C#, iria seguir a arquitetura descrita, funcionando de forma independente, gerindo as ligações ao Arduino e disponibilizando apenas informações necessárias, de forma facilmente interpretável. No fundo este script iria servir como um intermediário de toda a informação recolhida pelo Arduino, retirando complexidade ao script central e indicando se estava ou não a recolher informação. Como referido aquando da descrição do microcontrolador, o envio de valores do Arduino para o computador seria feito através de comunicação Serial, com o script aqui descrito a conseguir perceber se este canal de comunicação estava ou não estabelecido. O dispositivo poderia ser retirado e adicionado ao sistema sempre que necessário sem que este precisasse de ser reinicializado ou reconfigurado, funcionalidade que foi desenvolvida de forma a facilitar possíveis reconfigurações do sistema durante os testes prototípicos.

A escolha por uma arquitetura deste nível originou, no entanto, que fossem necessárias novas alterações no script central, de forma a permitir a chamada do novo ficheiro e a criação um mecanismo de hierarquias. Visto que iriam existir múltiplos mecanismos de input para as mesmas tarefas, era necessário salvaguardar que as ordens entre ambos não se sobrepunham. Desta forma, foi estabelecido que caso o sistema estivesse a aceitar ordens vindas do Arduino, estas teriam prioridade sobre outros inputs, fruto do seu funcionamento cíclico e o estado físico de alguns dos manipuladores a si ligados, tal como os de rotação.

4. Interpretação dos comandos de Voz

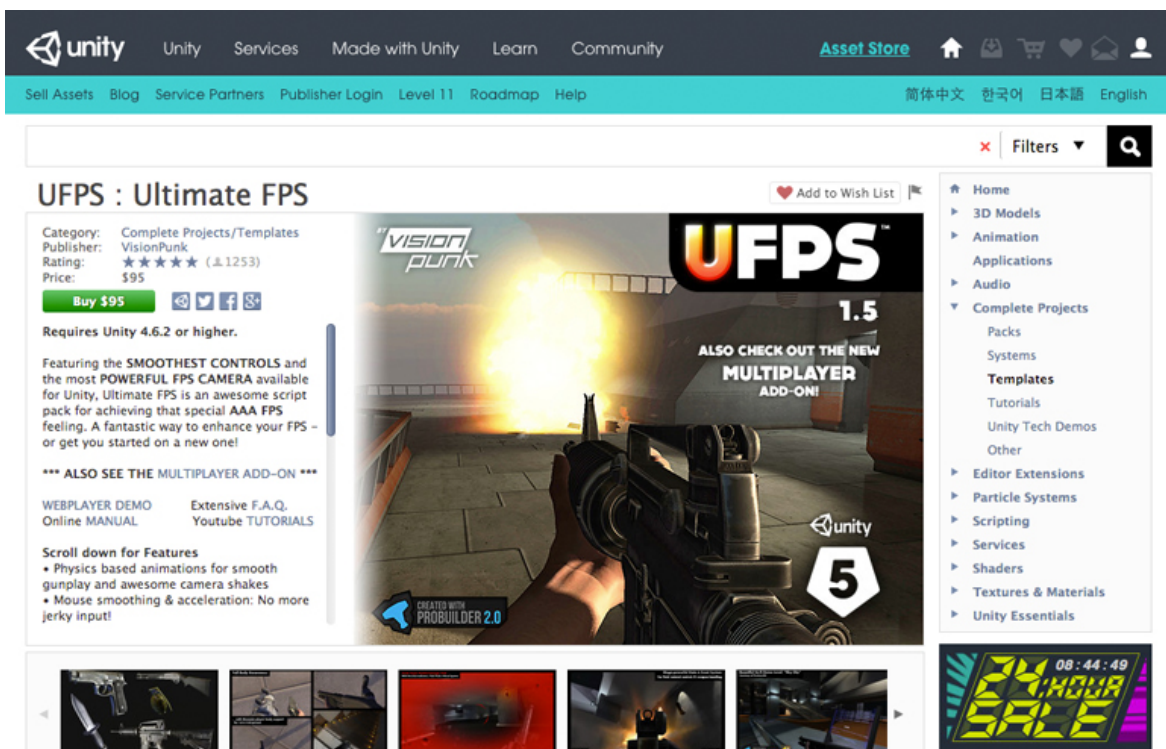


Figura 27 – Vista de uma página de download na Asset Store

Outro aspeto extremamente atrativo no Unity e ainda não referido no documento relaciona-se com toda a comunidade que o envolve. A existência de uma versão Pro – leia-se, paga – e de uma versão gratuita encaixam o desenvolvimento nesta plataforma numa filosofia semelhante à *open-source*, o que é corroborado pela existência de uma loja oficial on-line (Figura 27) e de vários fóruns de partilha de código. Nestes é possível aceder-se a simples partilhas de código, colocação e resolução de dúvidas e partilha de ideias, onde todo o mecanismo é gratuito, existindo não apenas fóruns oficiais, mas inúmeros outros criados por terceiros. Relativamente à loja, nesta são publicados *Asset/plugins* por qualquer *developer* interessado em publicar o seu trabalho, definindo um preço para obter permissão de download ou simplesmente oferecendo-o gratuitamente.

Tirando partido desta comunidade, e de forma a solucionar a interpretação dos inputs de voz, a equipa adquiriu um *Asset* de reconhecimento de comandos de voz na *Asset Store* oficial da plataforma. Desde muito cedo no projeto havia sido tomada a decisão de

utilizar um *plugin* externo para este feito, visto que o esforço a depositar poderia não se justificar e existia a necessidade de cumprir prazos. Sendo o download de um *Asset* e não de meros scripts, havia a garantia de integração praticamente imediata desta funcionalidade com o projeto, necessitando apenas de configuração e relação entre eventos e da integração do microfone externo.

Apesar de tudo, e como praticamente qualquer abordagem tecnológica, existem várias formas de construir uma mesma tecnologia, pelo que a comunidade do Unity reflete essa realidade. Pesquisando pela temática, existiam várias abordagens disponíveis, quer dentro da *Asset Store*, quer em fóruns de discussão on-line. Estas abordagens diferenciavam-se por vários aspetos como as metodologias de implementação, funcionalidades, dependências, custo e, logicamente, desempenho. Tudo isto tornou difícil optar por uma solução que fosse robusta, especialmente pelos custos resultantes de algumas das abordagens. Para resolver esta questão, foram definidos parâmetros de seleção: esta teria de apresentar bom feedback, ser de fácil implementação, permitir uso off-line e, de preferência, com um custo acessível. Foi com base nestes pontos que foi feita a escolha do *Asset* a utilizar.

Passando à configuração dos comandos que este deveria receber, estes foram definidos, sendo a informação passada para uma ordem textual quando um desses comandos era identificado. Seguindo a mesma metodologia de centralização das manipulações, esta informação passaria a ser legível e utilizada pelo script central, quando este a requeresse.

5.1.4 Resultados

Submetido a testes realizados com a equipa de médicos em Oxford, UK, o primeiro protótipo obteve resultados que foram encarados como satisfatórios. Tendo em conta que os objetivos da equipa passavam por perceber quais seriam as melhores soluções a adotar e não impor uma determinada escolha, toda a recolha de informação seria desde logo proveitosa.

Esta foi uma fase bastante instrutiva, onde foi possível perceber uma boa aceitação de toda a interface física e também dos módulos de pedais, o que, no entanto, não se passou com o sistema de inputs de voz. Como sumariado na tabela 3, os resultados da avaliação da equipa médica ao protótipo, realizada no decorrer da entrevista, demonstram que um dos fatores fundamentais para a atividade médica – a acuidade – não se verificava na interação por comandos de voz.

	Controlo analógico	Acuidade	Mãos-Livres	Facilidade de Mapeamento
Comandos de voz	Não	Baixa	Sim	Sim
Pedais	Sim	Alta	Sim	Sim
Botões Potenciómetros	Sim	Alta	Não	Sim

Tabela 3 - Interpretação de resultados dos testes aos sistemas de input

A utilização de controlos físicos, independentemente das funcionalidades aplicadas, agradou especialmente pelo facto de já existir uma familiarização com manipuladores deste tipo. A disponibilização de manipulações mais precisas ou mais imediatas foi igualmente vista como útil, pelos aspetos de adaptabilidade e personalização que oferecem à tarefa. Por outro lado, e como referido, a oferta de comandos de voz não foi uma medida bem aceite pela equipa de médicos. Constatando a realidade de um bloco operatório, o ambiente pode-se tornar extremamente ruidoso, seja através de conversas entre os intervenientes, seja pelo gosto por som ambiente. Nos testes realizados foram especialmente notórias as lacunas deste tipo de input, pois é prática comum dos utilizadores colocarem música ambiente durante os procedimentos cirúrgicos. Relativamente às questões de mapeamento, todas as soluções apresentadas demonstraram um bom aproveitamento.

A avaliação do protótipo permitiu então recolher informação considerada relevante e especialmente instrutiva, a qual pode ser apresentada de forma mais concisa enumerando as vantagens e desvantagem de cada abordagem individualmente, como apresentado nos pontos seguintes.

Comandos de voz

Vantagens:

- Não requer o uso das mãos por parte do médico, as quais podem estar ocupadas com utensílios ou a operar outros equipamentos;

Desvantagens:

- O ambiente de interação do procedimento cirúrgico é, pela a sua natureza, um ambiente muito ruidoso. Este facto dificulta o uso desta tecnologia devido ao elevado número de falsos positivos ou dificuldade no reconhecimento. Outro problema acrescido reside na dificuldade de implementar um sistema de feedback credível que certifique o utilizador que o sistema aceitou e processou a ordem dada;
- O controle de valores analógicos é bastante limitado. Nos casos em que é exigível que uma ordem de grandeza do sistema, como por exemplo o nível de opacidade do modelo 3D do órgão, seja ajustada de modo contínuo, os comandos de voz tornam-se demasiado complexos;

Pedais

Ainda que os pedais usados especificamente durante o teste e avaliação do protótipo tenham sido digitais, foi extrapolado o seu uso para controlo de grandezas analógicas.

Vantagens:

- Não requer o uso das mãos por parte do médico;

- O ambiente de interação é altamente personalizado pelo médico e este já contém vários sistemas de pedais para controlo de outros equipamentos médicos, pelo que o utilizador encontra-se familiarizado com o seu uso;
- O controlo das grandezas é preciso e a própria ação física e motora fornece um feedback claro ao utilizador e uma boa visibilidade do estado do sistema;
- Facilmente integrável no ambiente de trabalho do médico;

Desvantagens:

- Não foram identificadas ou referidas por parte do médico;

Botões/potenciómetros

Vantagens:

- O ambiente de interação é altamente personalizado pelo médico e este já contém vários sistemas de botões/potenciómetro para controlo de outros equipamentos médicos, pelo que o utilizador encontra-se familiarizado com o seu uso. Estes sistemas de inputs estão dispostos num anel que se encontra instalado no ambiente de trabalho, suspenso sobre o paciente. O médico personaliza para cada procedimento cirúrgico os vários elementos que compõem este anel;
- O controlo das grandezas é preciso e a própria ação física e motora fornece um feedback claro ao utilizador e uma boa visibilidade do estado do sistema;

Desvantagens

- Requer o uso das mãos por parte do médico. Contudo, a importância deste facto foi minimizada pelo médico;

Face a estes resultados a equipa de investigação optou por abandonar o desenvolvimento dos comandos de voz e aprofundar, em futuras fases do projeto, o sistema de input baseado em pedais, potenciómetros e botões. Este processo terá como

principal desafio, do ponto de vista do design de interação, o desenvolvimento de interfaces que permitam à equipa médica personalizar as funções do respetivo sistema de input.

No próximo capítulo irá ser descrito o desenvolvimento de um novo protótipo, onde é abordado o processo de registo.

6. Sistema de registo

O desenvolvimento do sistema de registo foi a fase mais exigente do projeto, em especial na sua dimensão técnica. Como já identificado oportunamente no documento, esta é a fase mais crítica e um dos maiores desafios da realidade aumentada, onde se pretende conseguir uma fusão perfeita entre o real e o digital. Quer pelo desafio técnico que representa, quer pela precisão necessária esta é uma tarefa algo complexa, onde o mínimo erro pode comprometer o sentimento de imersividade, o que, a acontecer, retira todo o sentido ao sistema. É portanto fundamental que toda a tecnologia que envolve a criação deste tipo de ambiente misto seja manuseada de forma correta, tornando possível a criação de um produto robusto e consistente.

As ideias para o desenvolvimento deste sistema de realidade aumentada passavam por simplificar o procedimento clínico, tentando torná-lo mais prático e objetivo. A abordagem a propor facilitaria não apenas o trabalho do cirurgião, mas tornaria igualmente a intervenção menos dolorosa, evasiva e prejudicial para o doente. Tentando romper com o procedimento habitual descrito no capítulo três – especialmente com as duas primeira etapas -, o objetivo passava por três aspetos fundamentais:

- Eliminar necessidade constante do recurso a raioX;
 - o Descontinuar a utilização do cateter;
- Evitar a mudança de posição do corpo;
- Diminuir a duração do procedimento (aproximadamente menos uma hora);

De entre estes aspetos, a eliminação da necessidade de recurso a raioX seria a mais significativa, pois deste ponto resultariam vantagens colaterais. Conseguindo eliminar este procedimento, a utilização do cateter seria descontinuada, visto que a sua utilização apenas é necessária para viabilizar a visão raioX. Por outro lado, deixaria igualmente de ser necessário o uso de monitores externos, pois a imagem passaria a ser projetada num HMD *see-through*, em formato de sobreposição digital. A esta fusão de realidades iriam também ser adicionados outros aumentos digitais, tais como a extensão da agulha e informações úteis sobre a tarefa e a execução do sistema.

Toda a ação poderia ser acompanhada olhando diretamente para a área de trabalho, eliminando assim as diversas fases necessárias para a localização exata da pedra e também a referida dependência de outros equipamentos físicos. A projeção do rim – e por conseguinte da pedra – seria fornecida por uma sonda ultra-som a ser manuseada pelo médico e a extensão da agulha seria isso mesmo, um aumento digital da direção da agulha, para ajudar a guiar e objetivar o processo. No campo de visão do médico deveriam estar então o paciente, a agulha e o seu prolongamento digital, o ultra-som e, à frente desde último, a imagem por si captada. Fazendo uso desta ferramenta, seria possível ao médico alinhar a referida guia com a pedra e atuar diretamente na mesma.

Como requisitos técnicos, esta fase do projeto iria necessitar, para além de um computador com o software Unity, de sensores magnéticos de posição, uma sonda ultra-som e os referidos óculos de RA *see-through*. O bom desempenho de todo este material seria fundamental para a obtenção de bons resultados no projeto, sendo de salientar a importância acrescida na aquisição de bons sensores magnéticos. Os resultados das performances conseguidas por estes últimos teriam um grande impacto no sistema, influenciando toda a sua dinâmica. Estes iriam ser testados como um método de registo para os utensílios a manusear, pelo que era necessário que fossem excepcionalmente precisos e responsivos. Qualquer falha num destes aspetos provocaria inconsistência no

sistema e a resultante perda de imersividade, podendo assim invalidar esta abordagem que se entendia ter bastante potencial.

A respeito da proveniência destes materiais, os sensores magnéticos e a sonda seriam fornecidos pela entidade médica do qual o projeto é parceiro, enquanto os óculos foram material adquirido pela Universidade de Aveiro.

6.1 Desenvolvimento de protótipo de prova conceptual

O desenvolvimento do sistema de registo começou, tal como a fase dos sistemas de input, após uma fase de estudo e planeamento. Apesar das ideias anteriormente descritas já se revelarem bastante consistentes era necessário comprovar que esse era o caminho a seguir, não estando igualmente claro quais as tecnologias que podiam ser usadas para conseguir tal efeito. Existia a necessidade de perceber mais concretamente determinados requisitos do sistema e qual a melhor forma de promover a interação e dinamismos desejados, sendo necessárias escolhas a nível de hardware e software. Assim sendo, dar resposta a estas questões de interação e dinamismo seria o ponto de partida, sem nunca esquecer outros aspetos importantes como a visibilidade e o feedback do sistema. No entanto, estas poderiam ser definidas mais tarde, com a ajuda da equipa de médicos.

Tendo sido confirmada pelos médicos a existência de potencial no uso de sistemas de realidade aumentada nos procedimentos médicos - aquando da abordagem através de visão por computador -, a equipa continuou a procurar qual seria a melhor solução para o efetuar o registo do sistema. Não tendo até ao momento qualquer escolha definida, teriam de se testar outras aproximações a fim de se procurar atingir resultados ainda mais satisfatórios. Neste sentido, e fundamentados pela revisão da literatura, foi decidido que deveria ser feita a experimentação de uma abordagem de posicionamento absoluto, através de sensores magnéticos. No entanto, materiais deste tipo que apresentem bons níveis de desempenho tem custos elevados e o acesso aos mesmos demoraria tempo que a equipa entendia ser despropositado para simples versões protótipadas.

6.1.1 Objetivos

Pelos aspetos referidos e pelo facto de existirem no mercado várias alternativas, enveredar pelo desenvolvimento de uma solução deste tipo requeria uma certificação prévia de que esta abordagem valeria a pena. Assim, antes de optar por qualquer uma das soluções disponíveis julgou-se conveniente realizar uma espécie de prova de conceito a esta abordagem. Atestando a viabilidade desta metodologia de fusão de realidades assegurava-se que não seriam despendidos recursos desnecessariamente, para que posteriormente se pode-se passar a um estado de desenvolvimento mais definitivo e aprofundado.

De forma a solucionar estas questões, a equipa passou para uma fase de idealização e desenvolvimento de um protótipo que conseguisse replicar a leitura de posicionamento absoluto no espaço, utilizando materiais que se encontravam disponíveis em laboratório. Este protótipo consistiria num braço mecânico capaz de fazer a referida leitura posicional da sua extremidade, permitindo simular e tirar conclusões muito próximas daquelas que seriam tiradas com um registo baseado em sensores magnéticos. Com esta abordagem pretendia-se possibilitar aos médicos uma experiência de controlo digital da agulha, ajudando-os a compreender a forma como seria feito o seu manuseamento e qual seria a sua visualização no sistema.

6.1.2 Arquitetura do sistema

Em termos de arquitetura do sistema, este protótipo assemelha-se bastante aos já descritos, com a única diferença a ser a presença do braço mecânico desenvolvido, ao invés dos manipuladores físicos (protótipo dos sistemas de input) e dos códigos fiduciais (protótipo exploratório).

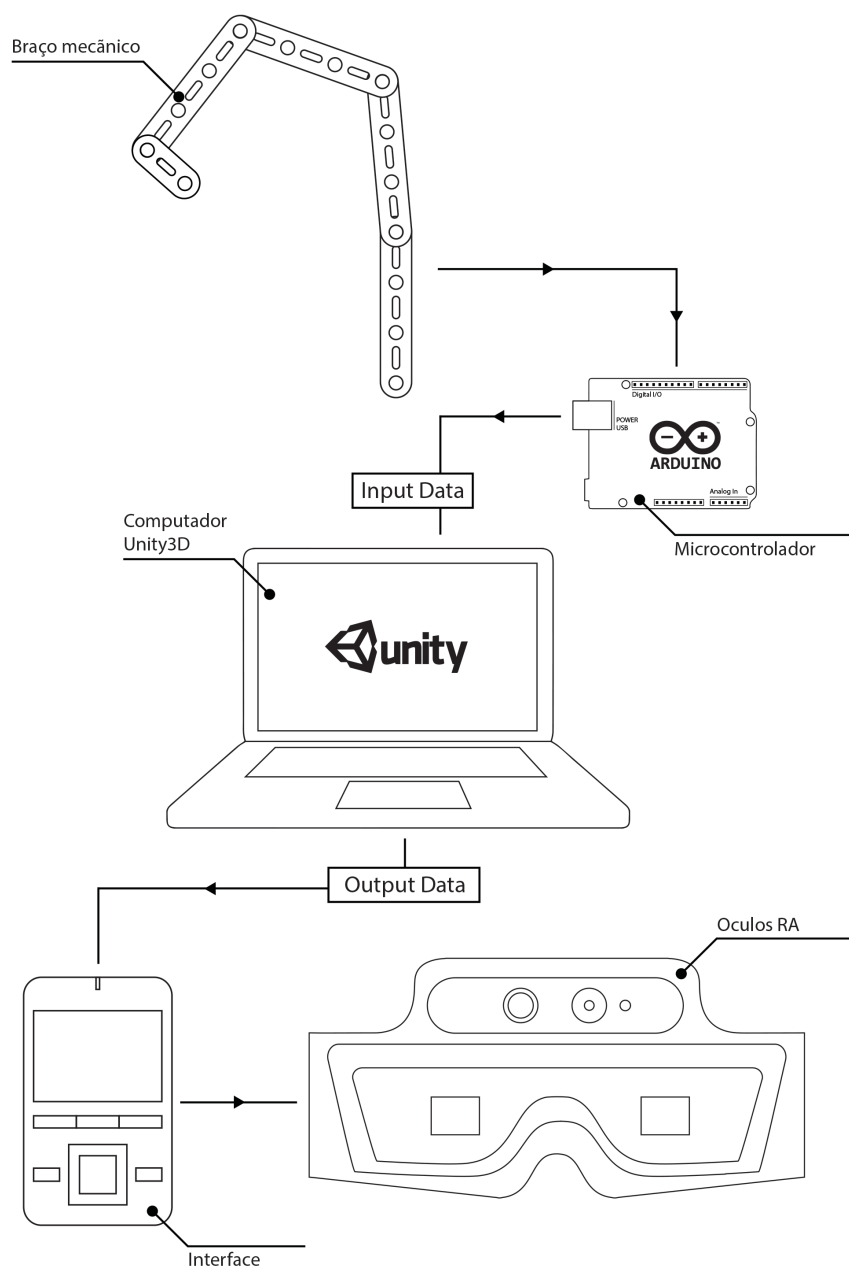


Figura 28 – Diagrama representativo do protótipo para prova conceitual

À semelhança do que sucedeu com a interface física usada para testar os sistemas de input, o braço mecânico foi também ele construído de raiz. Com uma arquitetura de sistema como a apresentada na figura 28, é feito uso de peças plásticas (mecanoPlástico) e potenciômetros para a estrutura do braço, sendo mais uma vez usado um microcontrolador Arduino para “traduzir” o seu manuseamento em informação significativa digitalmente.

O braço desenvolvido permite simular o manuseamento de um objeto físico no espaço, calculando a sua posição e permitindo representar o seu posicionamento digitalmente. Como acontece em todas as ocasiões em que o Arduino é utilizado como plataforma de comunicação entre o mundo físico e o digital neste projeto, a informação recolhida por este é interpretada e enviada para o computador através de comunicação Serial. Após ser recebida pelo Unity, esta informação digital de posicionamento é atribuída a um modelo digital, representante do objeto físico (Figura 29).

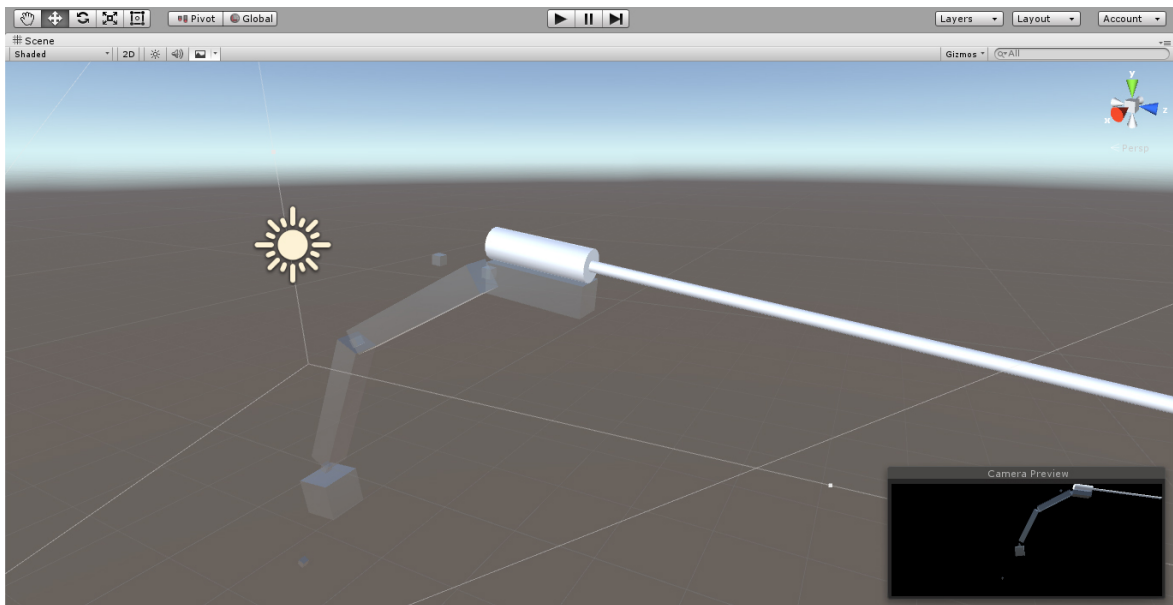


Figura 29 – Representação digital das manipulações físicas ao braço mecânico

Um funcionamento deste tipo, apesar de experimental, cumpre com eficiência os propósitos deste protótipo, permitindo dar a conhecer um exemplo prático de manuseamento de artefactos com repercussão digital e também de fusão de realidades, através de um *setup* simples e configurável.

6.1.3 Descrição do desenvolvimento

Desenvolvido praticamente em simultâneo com o protótipo do sistema de input, a ideia de construir um braço mecânico surgiu pela proximidade dos materiais e pela necessidade de conseguir uma solução de desenvolvimento rápido, não deixando de servir os seu protótipos. Todo o material utilizado na construção da estrutura e também

todos os componentes eletrônicos utilizados encontravam-se já em laboratório, pelo que após o surgimento desta solução se pôde de imediato passar ao seu desenvolvimento.

Visto que o braço não necessitava de apresentar uma estrutura unicamente estável mas igualmente articulada, existiu a necessidade de fazer uma boa escolha dos materiais, mas especialmente dos pontos onde se pudessem criar articulações e como estas seriam criadas. Tendo em consideração estas questões, e após uma primeira fase de planeamento, o protótipo começou a ganhar forma.

Como solução encontrada para o problema, o braço mecânico foi desenvolvido a partir peças de Mecanoplastico e de componentes eletrônicos como um Arduino e potenciômetros. A estrutura foi construída a partir das peças plásticas erguendo o braço através de várias partes, sendo os potenciômetros colocados nos pontos de união entre peças que deveriam formar ângulos (Figura 30). Com um mecanismo deste tipo, sempre que fosse criado um ângulo entre peças, dar-se-ia uma determinada rotação do potenciômetro.



Figura 30 – Representação de articulação do braço mecânico

Estando todos estes sensores de rotação ligados a um Arduino colocado na base da estrutura, este recolheria os valores e conseguiria fazer os cálculos necessários para descobrir o ângulo de cada uma das rotações. Este foi um algoritmo relativamente simples, onde apenas era necessário relacionar o ângulo máximo de rotação do potenciômetro com os valores analógicos que estes devolviam ao Arduino. Assim, e sendo o Arduino uma plataforma de desenvolvimento em tempo real, era possível

perceber todos os ângulos descritos pelas diferentes partes do braço mecânico, tornando possível determinar o posicionamento da sua extremidade em relação a um ponto de referência (origem). Tal como no protótipo dos sistemas de input, toda a informação interpretada pelo Arduino seria comunicada para o Unity, através de comunicação Serial.

Resumidamente, este protótipo (Figura 31) tornava possível determinar a posição da extremidade do braço no espaço, o que permitiria contextualizar os médicos da equipa com o conceito de fusão de realidades, facilitando uma tomada de posição quanto às potencialidades que lhe reconhecia.



Figura 31 – Protótipo de prova conceptual – Fase de testes

6.1.4 Resultados

Avaliado em Oxford,UK na mesma data que o sistema de input, por questões de conveniência de deslocação e possibilidade de dupla sessão com os médicos, este protótipo trouxe bons resultados e esclareceu questões importantes para a progressão do projeto. Testado pela equipa de médicos, onde estes últimos o manipularam

simulando o manuseamento da agulha na espaço, foram observadas reações bastante positivas, sendo dada a clara indicação de que este tipo de abordagem seria o caminho a seguir no desenvolvimento do protótipo. Assim sendo, as etapas seguintes do projeto foram determinadas por estes resultados.

Tendo existido um protótipo prévio onde foram feitas experiências com recurso a outro sistemas de registo (protótipo exploratório), torna-se difícil não estabelecer comparações. Existia a dúvida de qual destas abordagens seria a mais indicada, visto que ambas pareciam apresentar as suas vantagens. Se por um lado a opção pelos fiduciais proporcionou uma abordagem mais imediata e menos dispendiosa, por outro os sensores magnéticos poderiam ter um maior impacto na prática cirúrgica. O que acabou por se confirmar.

	Responsividade	Montagem	Obstrução visual	Custos
Sensores magnéticos	Alta	Simple	Inexistente	Elevado
Visão por computador	Baixa	Complexa	Elevada	Reduzido

Tabela 4 - Síntese comparativa entre sistemas de registo magnético e visão computacional

Pelos resultados obtidos e pelas opiniões dadas pelos médicos, ficou claro para a equipa que a primeira abordagem, com um sistema de *registration* baseado em visão computacional (fiduciais e Vuforia), era algo a abandonar. Como apresentado na tabela 4, a utilização do braço mecânico veio comprovar que esta não era tão responsiva como desejado, o que iria prejudicar a sua aceitação futura no seio médico. As intervenções são processos extremamente minuciosos e que requerem um certo imediatismo, o que obrigada à utilização de um sistema que se apresente mais dinâmico e responsivo, algo conseguido com este protótipo de posicionamento absoluto.

Outro aspeto surgido, apesar de não fazer parte dos parâmetros iniciais de observação, relaciona-se com o ruído visual causado por cada uma das abordagens. Comparativamente ao uso de fiduciais, os sensores magnéticos poderiam tornar-se menos obstrutivos e trazer mais rapidez à preparação do sistema, trazendo imediatismo à

intervenção propriamente dita e não apenas a esta fase de desenvolvimento, o que acontecia com uso de códigos fiduciais.

Relativamente aos custos acrescidos inerentes à utilização de sensores magnéticos, apesar de estes terem sido um dos parâmetros em avaliação, não representam um entrave para a incorporação desta solução. No contexto da medicina, e especificamente para a empresa parceira do projeto, maiores custos associados são justificáveis, sempre que a sua utilização resulte em benefícios funcionais relevantes.

Concluída a exposição do protótipo que aborda o sistema de registo, prossegue-se no próximo capítulo para a apresentação o ultimo protótipo desenvolvido, onde são reunidas todas as soluções desenvolvidas até ao momento.

7. Protótipo funcional

Terminado o desenvolvimento dos protótipos anteriores com resultados bastante satisfatórios deu-se início ao desenvolvimento de um protótipo mais definitivo. Neste sentido, e prosseguindo na procura da solução mais adequada, as intenções para o desenvolvimento deste quarto protótipo passavam por efetivar uma abordagem através de sensores magnéticos. Como anteriormente referido, este tipo de abordagem demonstrava um elevado potencial e, assim sendo, o projeto deveria evoluir nesta vertente de registo. No entanto, antes de adquirir uma solução tecnológica profissional e dispendiosa, decidiu-se avançar com uma prova de conceito do sistema de sensoriamento magnético recorrendo a tecnologia mais acessível, como aquela que é disponibilizada pela indústria dos jogos. Os sistemas de sensoriamento magnético usados na medicina são, além de dispendiosos, bastante complexos ao nível da integração do seu SDK com outras tecnologias e a sua aquisição envolve um processo muito moroso.

7.1 Desenvolvimento do protótipo funcional

No seguimento das referidas ideias, e de forma a solucionar essas questões, foi adquirido material – um controlador de jogos bastante bem referenciado – com

funcionalidade e desempenho semelhantes. Desta forma passaria a ser possível uma nova fase de avaliação do sistema apresentando melhorias significativas com uma abordagem que, espectavelmente, estaria mais próxima do pretendido.

7.1.1 Objetivos

Como objetivos a cumprir no desenvolvimento deste protótipo final, a equipa tencionava confirmar as apreciações que foi fazendo ao longo do projeto, oferecendo aos médicos um protótipo tecnicamente mais evoluído. A solução a apresentar deveria permitir apreciações mais realistas e esclarecedoras sobre os aspetos de interação com o sistema, provocando um confronto entre a reunião de ideias da equipa de desenvolvimento e o utilizador. O produto deveria agregar as várias funcionalidades desenvolvidas nos protótipos anteriores, como o sistema de visualização (Figura 32, ponto 5), sistemas de input e sistema de registo, permitindo testar o seu funcionamento em conjunto. Já bastante próximo da solução final para este tema, o sistema ofereceria também para testes dois dos pontos mais importantes da nova abordagem proposta, sendo eles as projeções da extensão da agulha (Figura 32, ponto 2) e da imagem ultra-som (Figura 32, ponto 4).

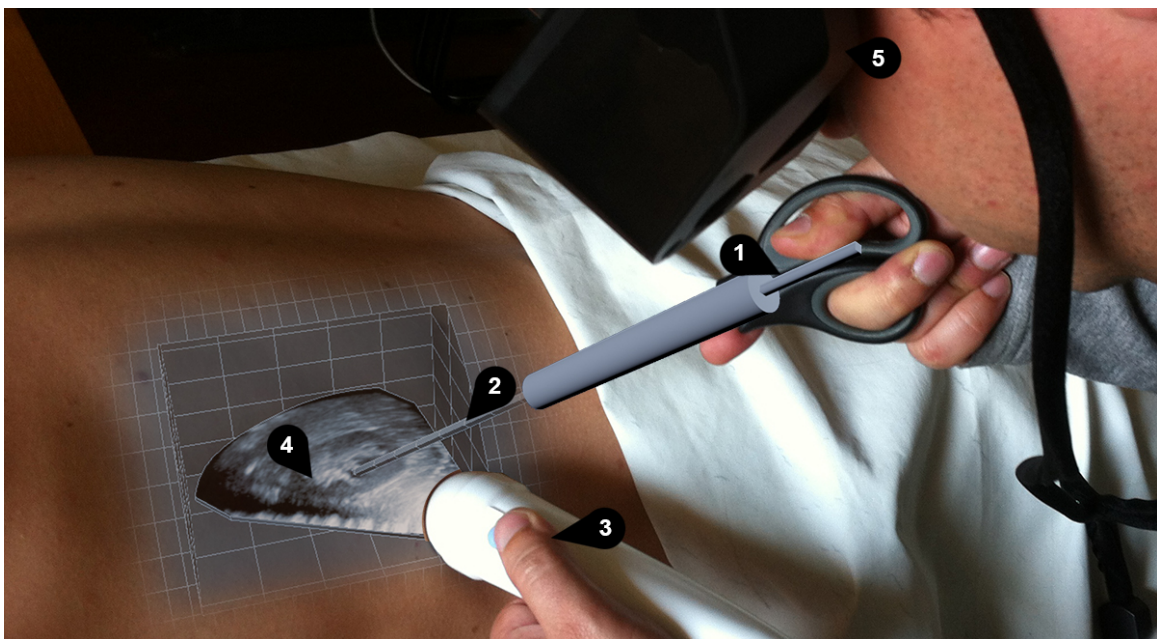


Figura 32 – Foto-montagem representativa da vista aumentada

A guia da agulha permitiria realizar novos testes de usabilidade da sua manipulação e inserção em relação ao órgão, agora através de novos sensores magnéticos. Por sua vez, a integração da sonda ultra-som (Figura 32, ponto 3) seria uma nova abordagem a testar, onde a imagem por si recolhida seria posicionada, em tempo real, à sua frente, junto à mão do médico que a manipula.

Inicialmente o objetivo para esta fase do projeto seria a colocação de três sensores magnético - um na agulha, um na sonda ultra-som e outro nos óculos de RA – criando assim um sistema completo no que respeita às questões de hardware de navegação e visualização. Contudo, o controlador adquirido acabaria por exigir uma mudança de planos visto apenas ter dois sensores, forçando a que estes objetivos fossem limitados a esse mesmo número de componentes. No entanto, e apesar de não ser possível utilizar um protótipo completo, o material acabaria por servir perfeitamente os propósitos da avaliação. Visto tratar-se apenas de um protótipo e não de uma versão final do produto, dois sensores seriam o suficiente para testar a utilização de sensores magnéticos no registo, a fim de provar a sua boa funcionalidade e indicar futuras melhorias.

Com estes aspetos disponíveis para testes, o sistema poderia de imediato oferecer uma experiência próxima do pretendido, possibilitando cumprir com os objetivos de validação propostos, sintetizados na tabela 5.

1. União de ferramentas/funcionalidades desenvolvidas separadamente
2. Viabilidade da utilização de Ultra-Som
3. Responsividade do sistema
4. Complexidade de montagem
5. Obstrução visual

Tabela 5 - Sintetização dos objetivos em teste na apresentação do protótipo final

Quer pela união de funcionalidades, quer pela introdução de novos avanços (imagem ultra-som), era fundamental que houve-se uma exposição aos médicos que permitisse avaliar o sucesso das escolhas tomadas.

7.1.2 Arquitetura do sistema

Seguindo a mesma estrutura dos anteriores, este protótipo, a nível de componentes físicos, apresenta algumas novidades. Como representado na figura 33, toda a arquitetura se mantém visto serem peças chave no projeto, com as alterações a nível de hardware utilizado a serem a inclusão de sensores magnéticos e da sonda ultra-som.

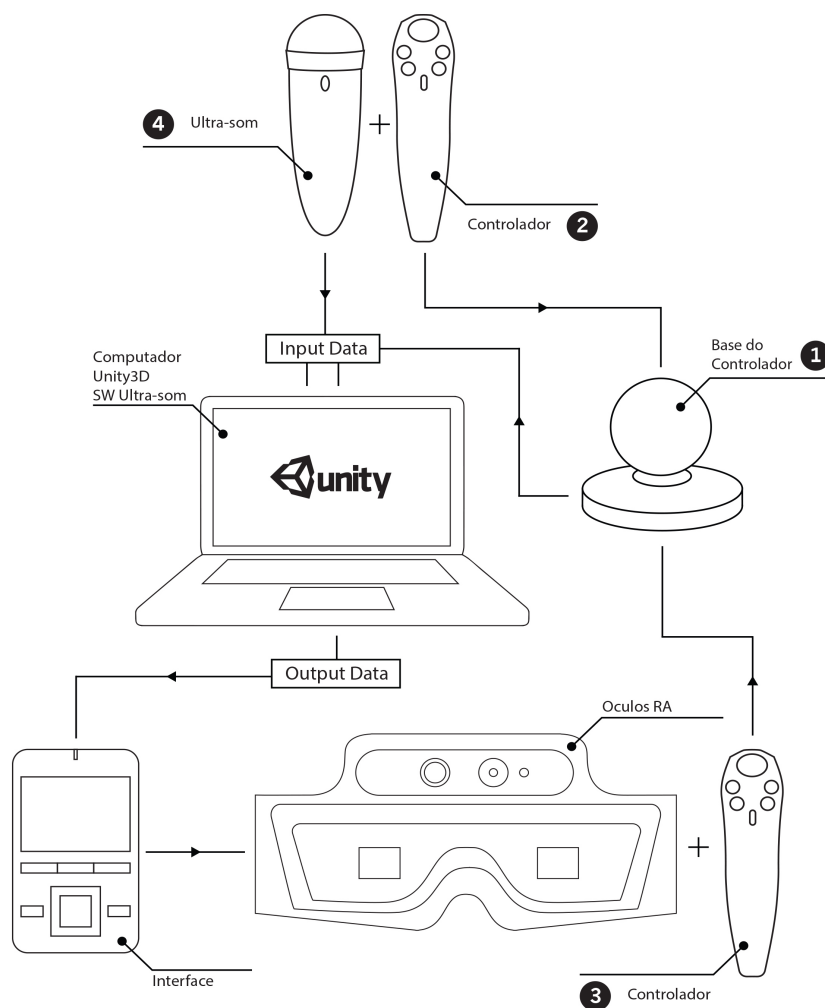


Figura 33 – Diagrama representativo do protótipo final

Como salientado ao longo do presente documento, todo o projeto é suportado pela ferramenta Unity, sendo esta a ferramenta que recebe e envia informação para todo o sistema. Continuando a existir os óculos de RA e a interface que lhe permite as visualizações estereoscópicas, neste protótipo estes sofrem um *upgrade*, sendo-lhe

adicionado um dos manípulos do controlador, representado pelo ponto 3 da figura 33. Com uma configuração nestes termos, percebe-se então a dependência deste novo componente na interação com o sistema, sendo este constituído por três objetos físicos:

1. Base de referência do controlador



Figura 34 – Base do controlador magnético

Tanto a base como os seus manípulos, representados pelos pontos 2 e 3, são componentes do controlador de jogos Razor Hydra, adquirido especificamente para a realização deste protótipo. Utilizado para controlar uma vasta gama de jogos e sistemas, este é um dispositivo multiplataforma, o que, para além do seu alto desempenho, o constituiu como uma excelente escolha para o presente protótipo. A ideia inicial passava pela utilização de outro material um pouco mais apropriado – mais preciso, sem fios e liberto da base - mas na sua ausência e para fins prototípicos este serviria perfeitamente.

Funcionando como um sistema de posicionamento magnético através dos seus manípulos, este controlador requer a utilização da sua base. Funcionando como origem do sistema – ponto de coordenadas (0, 0, 0) –, é através dela que os manípulos se ligam ao sistema, com esta a fazer a comunicação dos dados ao computador.

2. e 3. Manípulos do controlador



Figura 35 – Manípulo do controlador magnético

Relativamente aos manípulos, o corpo de cada um deles é composto não só por uma simples carcaça contendo os sensores magnéticos, mas igualmente por um *joystick* e botões de controlo, fazendo dele um artefacto extremamente popular no universo dos controladores magnéticos para jogos e experiências prototipais ou independentes de sistemas de realidade aumentada.

No protótipo, cada um destes manípulos é anexado a um dos componentes físicos que sofre mudanças posicionais e de rotação no mundo físico. Especificamente, o manípulo representado pelo ponto 2 foi aplicado à sonda ultra-som enquanto o representado pelo ponto 3 foi aplicado aos óculos de realidade aumentada. Na falta de um terceiro manípulo aplicável à agulha, esta não é manipulada através deste funcionamento.

A manipulação física destes manípulos passa então a poder ser representada digitalmente, com esta informação utilizada pelo Unity a ser atualizada em tempo real.

4. Sonda Ultra-som

A sonda ultra-som, uma SeeMore Abdominal Probe da Interson, foi adquirida apenas para efetuar aquilo que lhe compete, fazer a captação de imagem ultra-som.

Dispondo de conexão USB e tendo vindo acompanhada do seu próprio software, é permitido a este dispositivo interpretar e apresentar a imagem por si recolhida em qualquer computador, requerendo, no entanto, o sistema operativo Windows.

Este equipamento foi adquirido pela empresa parceira, assegurando assim a sua competência para o desempenho das devidas funções.

7.1.3 Descrição de desenvolvimento

Iniciando o desenvolvimento do protótipo a equipa continuava a deparar-se com a já referida falta de sensores magnéticos. Nesta fase do projeto passava a ser pretendida a utilização de três sensores magnéticos - um na agulha, um na sonda ultra-som e outro nos óculos de RA - o que com o controlador adquirido acabaria por não ser possível. Apesar de apresentar excelentes níveis de exatidão e fluidez, este apresentava igualmente algumas fraquezas: Era constituído apenas por dois manípulos – onde se encontravam os sensores - e uma base de referência posicional, sendo que, quer os manípulos quer a base, necessitavam de ligação através de cabos. Contudo, e tendo em conta que apenas se procedia à criação de um protótipo, dois sensores seriam suficientes para produzir um efeito semelhante ao idealizado. Criando uma abordagem alternativa, a solução passou por avançar, colocando um dos sensores nos óculos e outro num dos artefactos a manusear. Apesar de não criar o sistema de navegação pretendido na sua totalidade, esta abordagem conseguiria manter a sua clareza, possibilitando a sua principal função, elucidar o utilizador.

Estruturada a metodologia de desenvolvimento a seguir, a primeira tarefa relacionou-se com conseguir a integração do controlador. Tal como o sucedido aquando da escolha do Vuforia, sendo todo o desenvolvimento centrado na plataforma Unity a escolha das restantes ferramentas que englobem o sistema necessitam de cumprir um requisito: apresentar possibilidade de integração com o Unity. No caso do controlador adquirido, as referências recolhidas davam boas indicações quanto ao seu desempenho e indicavam a existência de software de suporte para a plataforma. Assim sendo, a equipa procedeu ao download dos ficheiros necessários e à procura de procedimentos básicos a

conseguir para acelerar a integração. Ultrapassados alguns conflitos de versionamento surgidos entre a plataforma e o software de apoio, a união destas ferramentas foi conseguida com sucesso. Passavam agora a estar disponíveis os elementos básicos (scripts) para adicionar o controlador a qualquer projeto Unity, sendo possível usufruir não apenas do seu posicionamento, mas igualmente de todo os controlos disponibilizados pelo controlador, apresentados na figura 36.



Figura 36 – Interface física do manípulo do controlador magnético

Terminada a integração do novo controlador com o Unity, o próximo passo seria capturar a imagem vinda do ultra-som e torná-la também utilizável no projeto. A sonda adquirida vinha acompanhada do seu próprio software, o qual interpretava os dados vindos da sonda e reproduzia a imagem gerada na janela do programa. Mostrando-se o desafio tecnicamente mais complexo de todo o projeto, esta fase contou com a agravante de o tempo disponível para o desenvolvimento ser limitado. Apesar do software da sonda deixar facilmente acessíveis algumas das bibliotecas necessárias para fazer a integração com o Unity, este seria um processo extremamente demorado. A dificuldade prevista para a realização da tarefa obrigou a que a abordagem inicialmente pensada fosse reformulada, levando a equipa a procurar outras soluções. Era fundamental conseguir tempos de desenvolvimento mais viáveis, mas que ao mesmo tempo mantivessem os níveis de performance iguais ou próximos dos demonstrados pelo software original.

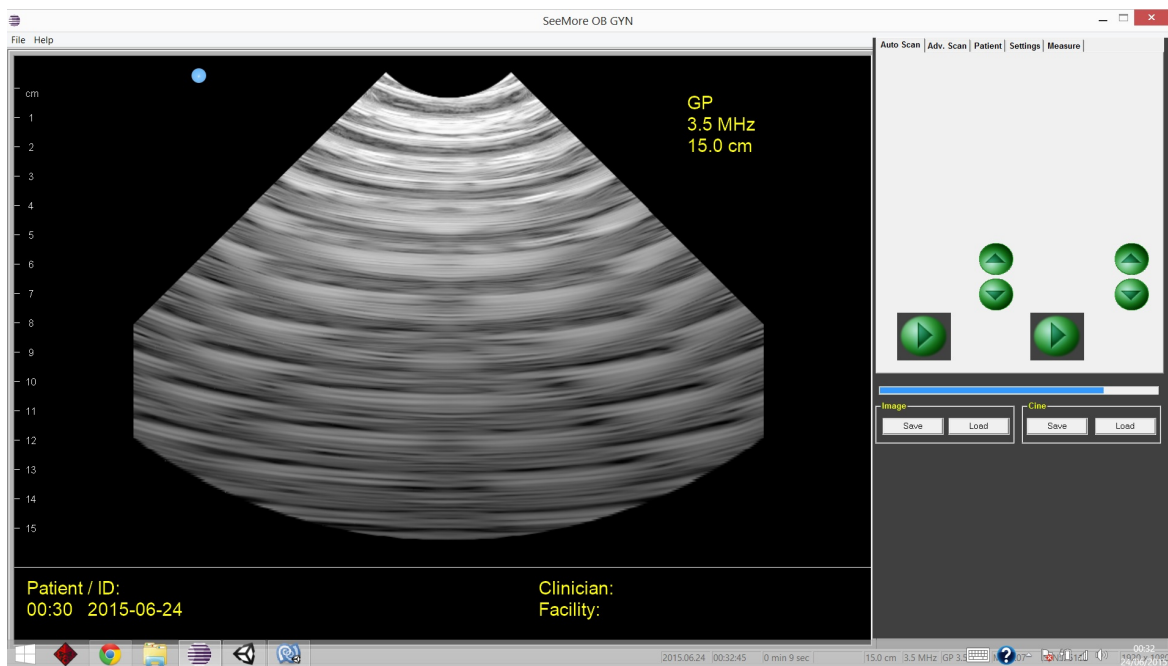


Figura 37 – Vista do software da sonda ultra-som

De entre algumas tentativas e após um período de pesquisa, a solução encontrada passou por elaborar um script C# capaz de controlar a janela do software da sonda (Figura 37). Este algoritmo, essencialmente, fazia uma espécie de *streaming* da informação visual recolhida pela sonda, enviando-a para o Unity, tornando-a assim manipulável no projeto. Esta solução de “replicação” da imagem ultra-som, apesar de funcional, trouxe grandes problemas de performance ao projeto. O raciocínio adotado demonstrava ser o correto, mas o código desenvolvido necessitaria de otimização profunda, pelo que todo o algoritmo inicial acabou por ser reformulado. Para concretizar tais mudanças a solução passou por procurar usar funções mais eficientes e aprofundar questões como a divisão de tarefas pelos núcleos de processamento do sistema. Após este refinamento, o resultado obtido acabou por ser extremamente satisfatório, com todos os problemas de *delay* a serem eliminados. O sistema corria agora com fluidez e a imagem do ultra-som encontrava-se pronta para ser utilizada pelo sistema, podendo ser aplicada como textura de qualquer elemento digital (Figura 38).

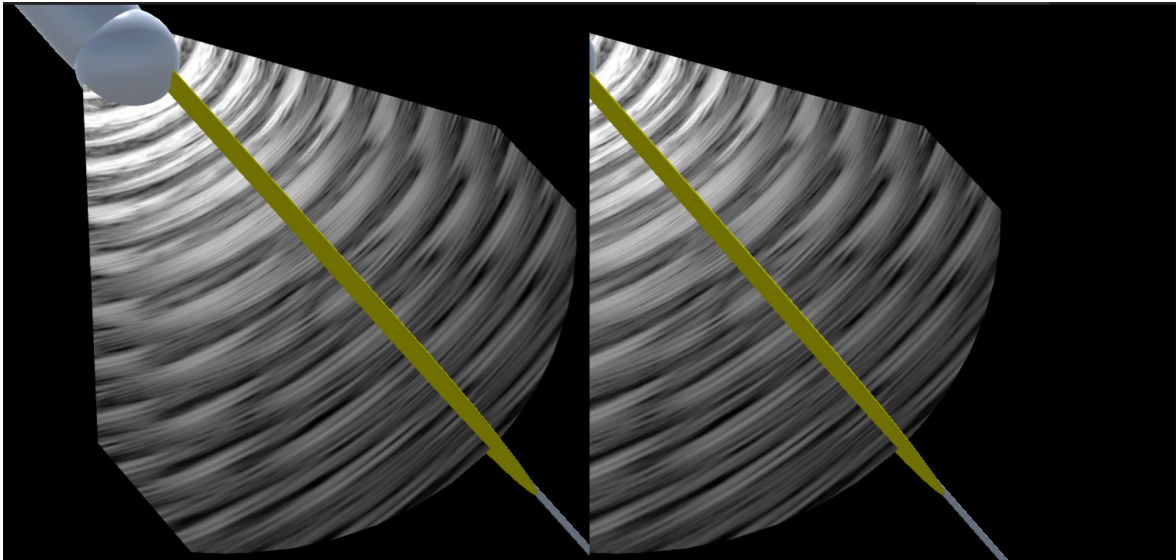


Figura 38 – Imagem do sistema com textura ultra-som aplicada

Estando num ponto em que os componentes essenciais – sensores magnéticos e ultra-som – se encontravam funcionais, o protótipo encontrava-se praticamente concluído, bastando associar a informação recebida por estes a modelos digitais. Assim sendo, foram criados três modelos principais – agulha, ultra-som, e câmara – e dois que dependeriam destes – guia da agulha e painel de imagem ultra-som. Aos três modelos principais deveria ser-lhes associada a informação de posição de cada um dos sensores magnéticos. No caso, e como já referido, a existência de apenas dois sensores deste tipo fez a escolha recair sobre utilizá-los na câmara e no ultra-som, deixando temporariamente a agulha e a sua guia estáticas.

Visto o projeto fazer uso de um HMD *see-through*, nenhum dos modelos principais seria visível no sistema - pois os instrumentos reais estariam visíveis - existindo apenas como “representantes” da localização dos sensores magnéticos, servindo de ponto de origem para os seus modelos dependentes. Desta forma, o modelo digital da guia da agulha foi associado ao modelo desta última e o painel que iria conter a imagem do ultra-som ao modelo do ultra-som, trazendo dinâmica a estes elementos, que se movimentariam sempre de acordo com os objetos físicos. Como nota adicional pode-se acrescentar que esta associação, porém, poderia não existir, sendo estes modelos imediatamente controlados pelos dados vindos dos sensores e sendo-lhe aplicado um

offset posicional. Contudo, para efeitos de desenvolvimento e calibração, este tipo de estrutura revelou-se mais útil e eficaz.

Neste momento, e no que respeita a aspetos relacionados com o software, bastavam apenas alguns pormenores. Os modelos dependentes teriam de ser corretamente alinhados com os modelos principais, a imagem ultra-som teria de ser aplicada como textura ao painel correspondente e a cena preparada para ser projetada nos óculos. Quando todos aspetos estivessem completos, o sistema devia de imediato oferecer uma experiência próxima do pretendido. O sensor colocado nos óculos seria associado à câmara criada no mundo digital, movendo-se nesse ambiente de acordo com a movimentação da cabeça do clínico, fornecendo assim as vistas dos aumentos digitais nas perspetivas apropriadas. Todo o resto do ambiente tridimensional seria colocado na cor preta, pois a projeção desta coloração nos óculos de RA passa a transparência. (Figura 39).

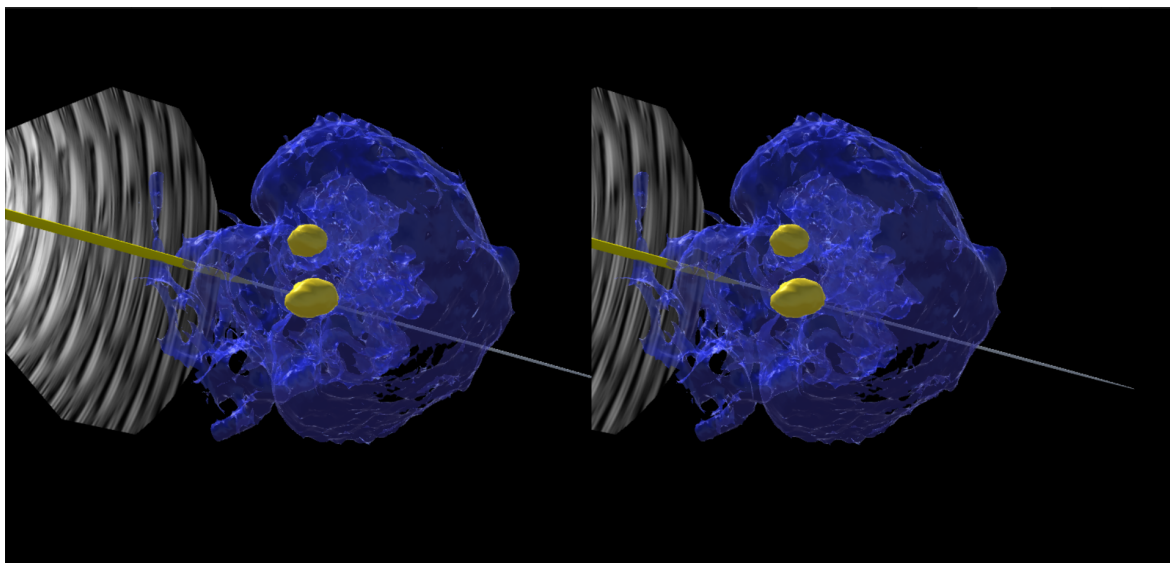


Figura 39 – Vista tridimensional gerada pelo sistema completo

Terminadas as questões relacionadas com o software, era necessário efetivar a unificação dos componentes de hardware, anexando os sensores aos dispositivos correspondentes. Para tal efeito, os controladores tiveram de ser desmontados, removendo a eletrónica das carcaças de plástico e anexando-as aos elementos (Figura 40). Quanto à falibilidade de apenas existirem dois sensores disponíveis, esta foi

contornada permitindo que o modelo deixado estático – agulha – pudesse ter o seu movimento simulado através de teclas.



Figura 40 – Anexação de sensores magnéticos à sonda ultra-som e óculos

8. Conclusão

Consumado o desenvolvimento do novo protótipo, apresentado no capítulo 7, era necessário realizar novos testes com os médicos da equipa, a fim de se poder fazer um acompanhamento sustentado da evolução do protótipo. Havia ficado explícito no agrado demonstrado nos resultados do protótipo anterior que os sensores magnéticos seriam a solução a adotar, mas era necessário testar a sua implementação e a integração de outros componentes, como a sonda ultra-som. Desta forma, a equipa deslocou-se a Paris para uma nova reunião com a equipa de médicos na conferência "Challenges in Endourology and Functional Urology 5th International Meeting 2015 (CIE 2015)".

8.1 Resultados do protótipo final

Da mesma forma que nos protótipos anteriores, mais um vez os resultados dos testes foram animadores. Apesar do carácter estritamente prototipal - até pelo já referido uso de material adaptado - houve nova aceitação do uso de sensores magnéticos. O sistema

estava cada vez mais fluído, responsivo e completo, com estas evoluções contínuas a agradar aos médicos.

Alguns problemas que poderiam ser identificados neste protótipo – como a presença de cabo e a necessidade da base de referência para os manípulos – já o tinham sido mesmo antes dos testes, pelo que todas estas contrariedades foram expostas ao médicos e prontamente compreendidas por estes. Neste sentido, falhas deste tipo não constam na análise de resultados deste protótipo. Por outro lado, foram feitos reparos ao sistema de visualização através do óculos de RA.

	Responsividade	Imediatismo de montagem	Obstrução visual	Comodidade
Sensores Magnéticos	Alta	Alto	Baixa	Alta
Sonda Ultra-Som	Alta	Alto	Baixa	Alta
Sistema de Visualização	Alta	Médio/Alto	-	Baixa

Tabela 6 - Síntese de resultados do protótipo final

Tal com representado na tabela 6, os parâmetros relacionados com a interação com o sistema eram bem sucedidos, mas foi identificada pelos médicos alguma falta de conforto aquando do uso dos óculos, sendo referido que talvez fosse melhor um acompanhamento da ação e respetivos aumentos digitais através dos monitores externos tradicionais.

Tendo partido para a fase de teste do protótipo com a intenção de avaliar os avanços conseguidos na ultima iteração do sistema de navegação e estando estes testes a correr de forma satisfatória, um reparo acerca do HMD foi algo surpreendente. O uso desta tecnologia já havia sido testado em protótipos anteriores, não tendo sido identificadas

falhas neste sentido. No entanto, o aparecimento tardio desta questão pode ser justificável devido ao carácter mais experimental e exploratório das sessões anteriores. Estas decorreram num formato introdutório e explicativo de uma nova tecnologia, apresentando as suas possibilidades e tentando recolher feedback sobre o seu potencial. Já neste ultimo protótipo, o estado de maturação da tecnologia encontrava-se mais avançado, sendo apresentada uma solução já bastante palpável do que o produto final poderia vir a ver. Possivelmente a utilização do HMD numa visualização mais séria, dinâmica e profissional como esta tenha exposto o referido incómodo que, numa intervenção real, não é de todo aceitável.

Relativamente à utilização da sonda ultra-som (Figura 40), os médicos consideraram que a projecção da imagem resolvia os problemas de *mapping* que existiam nos sistemas tradicionais, mas ainda não era suficiente para se afirmar como um sistema que permitisse uma perceção plena da navegação da agulha dentro do rim. Tal como as limitações descritas no uso do HMD, esta insuficiência permitiu à equipa de investigação antever e projetar como trabalho futuro uma nova solução, as quais são referidas no subcapítulo relativo a trabalhos futuros.

De entre todas as observações realizadas, a relativa a este ultimo protótipo acaba por ter algum destaque, visto ser a mais construtiva e reveladora. Como representação do estado evolutivo do projeto, foi importante validar definitivamente a utilização de magnetismos para efetuar o registo do sistema, tendo sido igualmente identificada uma falibilidade importante no mesmo, como foi o caso do sistema de visualização.

Em suma, o feedback recolhido foi positivo, animador e sobretudo encorajador, com os objetivos desta fase a serem concluídos. Embora tenham sido identificados alguns pontos menos positivos, a validação efetiva da navegação auxiliada por sensores magnéticos e a utilização da sonda são encarados como avanços bastante significativos.

8.2 Limitações do estudo

Em termos de limitações do presente estudo, existem alguns pontos a apresentar, sendo alguns inicialmente espectáveis e outros resultado de simples imprevistos. A respeito do desenvolvimento prático, em determinados momentos existiram problemas como o atraso na obtenção de material apropriado. Como referido atempadamente no decorrer do documento, algum do material requeria certificação médica o que conjugado com demoras inesperadas na sua aquisição acabaram por dificultar a progressão do projeto.

Ao nível dos sistemas de input, a necessidade de certificação do módulo de pedais retirou alguma versatilidade à interação que se pretendia, pelo seu funcionamento básico ao estilo de um teclado, embora este tenha sido bem aceite. Quanto aos sensores magnéticos, este foi outro ponto onde a demora na aquisição também criou limitações, visto que foi necessário procurar alternativas credíveis e exequíveis. Contudo, a solução encontrada revelou-se extremamente válida, acabando por cumprir com todas as necessidades exigidas.

Outro fator relacionado com o material disponível prendeu-se com a demora na disponibilização de um computador para o projeto. A impossibilidade de contar desde logo com uma máquina a tempo inteiro que disponibilizasse determinados recursos revelou-se um entrave, atrasando o desenvolvimento. Desta lacuna surgiram inúmeros problemas de versionamento e de falta de suporte para algumas funcionalidades básicas, tal como a calibração dos óculos de RA. Estes problemas puderam apenas ser ultrapassados após a aquisição de um computador dedicado para o projeto.

Excetuando os pontos mencionados acerca do material, outros aspetos acabaram por ser limitativos, como o distanciamento geográfico entre os médicos da equipa e os responsáveis pelo desenvolvimento. Apesar de terem sido consumados os testes de várias versões protótipadas, julga-se que uma maior proximidade entre elementos poderia ter dados maiores frutos, especialmente ao nível de recolha de requisitos.

8.3 Perspetivas de trabalho futuro

Como perspetivas de trabalho futuro é possível à equipa de investigação apontar alguns aspetos que já se encontravam estipulados e outros, resultantes de problemas identificados na avaliação de protótipos, que devem ser corrigidos.

Visto o presente projeto ser algo extenso e com diversas áreas onde podem surgir problemas específicos, as referidas reformulações/correções a realizar encontra-se divididas, sendo de seguida apresentadas por área do desenvolvimento às quais dizem respeito.

Sistema de visualização

Um ponto de reformular com brevidade relaciona-se com os problemas de visualização encontrados nos testes do último protótipo, onde terão de ser procuradas novas alternativas. Existe a necessidade de serem ponderadas outras abordagens, optando por um novo sistema de visualização ou procurando uma nova solução ainda baseada num HMD. Pelo incomodo denotado, a sugestão dos médicos da equipa apontou para testes com uma abordagem de RA *monitor-based*, devendo ser experimentada uma solução deste tipo. No entanto, julga-se com relativa certeza de que o incomodo denotado se deve em grande parte ao estado de maturação da tecnologia apresentada pelo HMD à disposição da equipa e não ao tipo de visualização que oferecem. Assim sendo, deve igualmente ser procurada uma solução conceptual do mesmo género, mas fazendo uso de um dispositivo mais evoluído.

Sistema de registo

Ao nível dos sistemas de registo, existe a clara necessidade de implementar sensores que sejam mais responsivos e que eliminem as limitações encontradas, como a necessidade de cabos para a sua ligação. O conceito da sua boa integração encontra-se provado, o que justifica um investimento da equipa no melhoramento desta solução.

Aumentos digitais

Em função dos problemas identificados com a projeção da imagem do ultra-som - apresentados já no decorrer do presente capítulo -, a equipa de investigação tem já em vista uma nova solução para o desenvolvimento. Tendo a visualização atual sido descrita como insuficiente para um sistema de navegação com plena perceção do trajeto da agulha, pretende-se que a imagem plana do ultra-som passe a ser substituída por uma projeção tridimensional do órgão.

Para o concretizar desta alteração dever-se-á recorrer à técnica de fusão, criando um algoritmo que correlacione a imagem bidimensional do ultra-som com a geometria tridimensional do rim, determinando a posição e orientação deste ultimo. Utilizando uma solução deste género, passa a ser permitido introduzir no campo de visão do médico, através do sistema de visualização adotado, o modelo do rim no interior do paciente, tal como representado na figura 41.

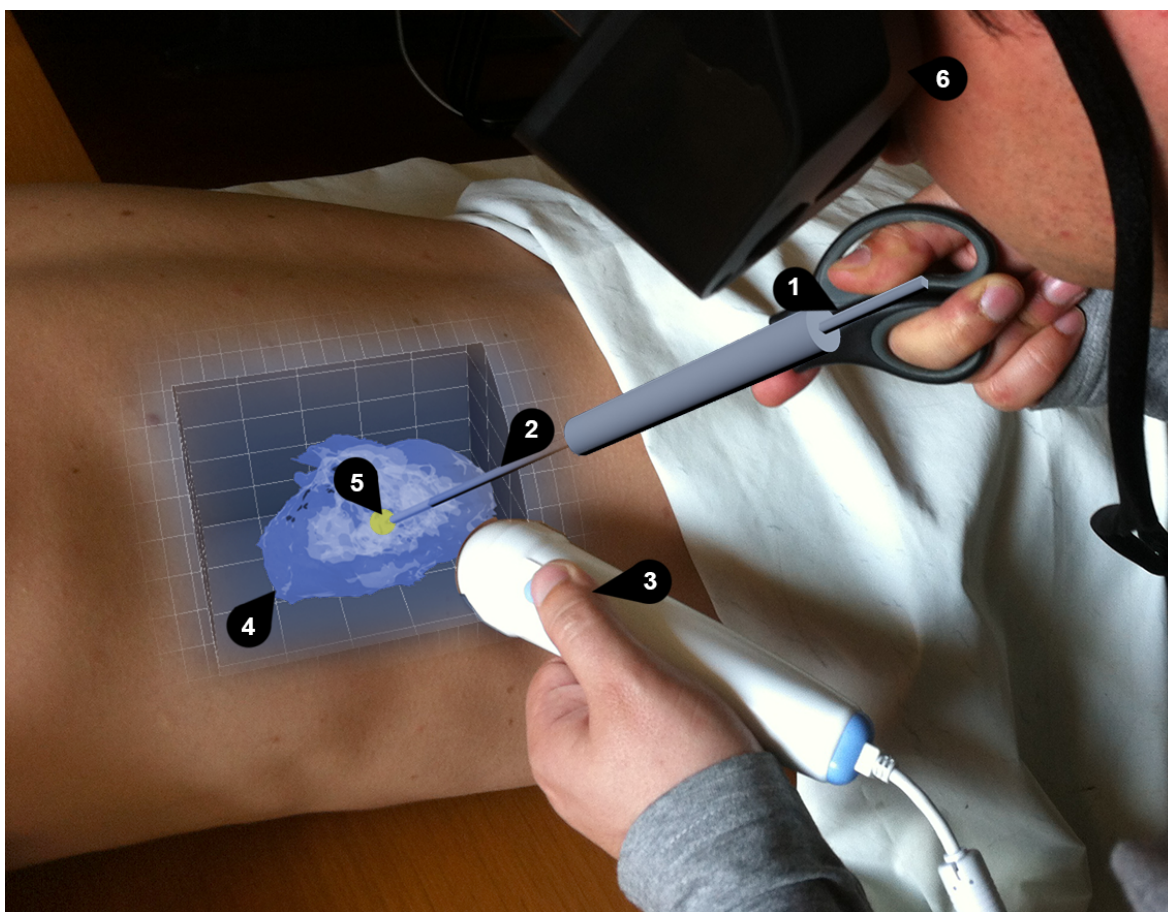


Figura 41 – Foto-montagem de projeção tridimensional do rim no interior do paciente

Funcionalidades e sistemas de input

Relativamente a novas funcionalidades do sistema, seria importante fazer um levantamento mais aprofundado deste tipo de desejos, expandindo as possibilidades dos sistemas após o cimentar de soluções para as questões acima mencionadas.

Em iterações futuras pretende-se que, para além de expandidas, estas funcionalidades possam ser associadas aos sistemas de input de forma personalizável. Deve ser criado um interface de configuração adicional do sistema, onde seja possível aos médicos associar funcionalidades a cada input disponibilizado, de forma a que o produto se possa adaptar da melhor forma possível a cada utilizador e não força-lo a processos que dificultem uma interação fluida do sistema.

8.4 Considerações finais

Chegando a altura de retirar conclusão do estudo levado a cabo, é com agrado que se entende que a investigação e desenvolvimento deste novo sistema de realidade aumentada se encontra no caminho correto. Por todo o esforço depositado e pelo feedback recolhido durante os testes a que foi submetido, o projeto apresenta bastante potencial, mostrando que todas as opções tomadas e etapas concluídas foram, de facto, passos no sentido certo. O desenvolvimento do sistema proposto pretende gerar valor para o meio médico, potenciando o trabalho dos profissionais intervenientes e também defendendo a saúde dos pacientes, concluindo-se que uma parte importante do que este produto pretende alcançar se encontra concluída com sucesso.

Todo o processo foi bastante instrutivo em vários aspetos e, sendo este um projeto com continuidade, considera-se com elevada segurança que foram criadas bases sólidas para desenvolvimentos futuros. Quer a nível técnico, quer a nível de conhecimento dos procedimentos e meio médico, foi produzida informação extremamente importante e sobretudo útil para que exista uma continuidade sustentada desta investigação.

Referências bibliográficas

- Azuma, R. (1995). A Survey of Augmented Reality. Acedido em [http://www \(Azuma, 1997\).cs.unc.edu/~azuma/ARpresence.pdf](http://www.cs.unc.edu/~azuma/ARpresence.pdf)
- Dourish, P. (2004). *Where the action is - the foundations of embodied interaction*. Massachusetts: MIT Press. ISBN 978-0-262-04196-6. Acedido em <http://mitpress.mit.edu/books/where-action>
- Fuchs, H. [et al.] (2000). UNC Ultrasound/Medical Augmented Reality Research. Acedido em <http://www.cs.unc.edu/Research/us/>
- Gould, J., & Lewis, C. (1985). Designing for Usability: Key Principles and What Designers Think. *Communications of the ACM*. Doi: doi=10.1.1.84.8860. Acedido em <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.84.8860&rep=rep1&type=pdf>
- Hassenzahl, M. (2012). Interaction Design Foundation. The Encyclopedia of Human-Computer Interaction, 2nd. Retrieved Agosto 4, 2015, from <https://www.interaction-design.org/literature/book/the-encyclopedia-of-human-computer-interaction-2nd-ed/user-experience-and-experience-design>
- Hoff, W., & Nguyen, K. (1996). Computer vision-based registration techniques for augmented reality. *Proceedings of Intelligent Robots and Computer Vision XV, 2904(12)*, pp. 538-548. Doi: 10.1.1.22.8772 Acedido em <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.22.8772&rep=rep1&type=pdf>
- Ishii, H., & Ullmer, B. (1997). Tangible bits: towards seamless interfaces between people, bits and atoms. *Proceedings of the ACM SIGCHI*, 1–16. Acedido em <http://web.media.mit.edu/~anjchang/ti01/ishii-chi97-tangbits.pdf>
- Kersten-Oertel, M. [et al.] (2014). Augmented Reality in Neurovascular Surgery: First Experiences. Em *Augmented Environments for Computer-Assisted Interventions*, United States of America, 2014. doi: 10.1007/978-3-319-10437-9_9. Acedido em

https://www.researchgate.net/publication/266674464_Augmented_Reality_in_Neurovascular_Surgery_First_Experiences

Laparoscopia: o que é? Como é? Quais são as desvantagens e os riscos?. (2013) . Retrieved Setembro 9, 2015, from <http://www.abc.med.br/p/357764/laparoscopia+o+que+e+como+e+quais+sao+as+desvantagens+e+os+riscos.htm>

Milgram, P., & Kishino, F. (1994). A taxonomy of Mixed Reality visual displays. *IEICE Transactions on Information Systems*, E77-D(12). Acedido em http://etclab.mie.utoronto.ca/people/paul_dir/IEICE94/ieice.html

Mountney, P. [et al.] (2009). Optical Biopsy Mapping for Minimally Invasive Cancer Screening. Em MICCAI, United States of America, 2009 (pp. 483–490). Acedido em <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20426023>

Norman, D. (2002). The design of everyday things (pp. 1 – 218). New York, NY, USA: Basic Books, Inc. Acedido em <http://itu.dk/people/miguel/DesignReadings/Readings/!other%20readings/The%20Design%20of%20Everyday%20Things%20-%20Don%20Norman.pdf>

O'sullivan, D., & Igoe, T. (2004). Physical Computing. Boston, United States of America: Thomson Course Technology PTR. ISBN: 1-59200-346-X

Preece, J., Rogers, Y., & Sharp, H. (2002). Interaction design: beyond human- computer interaction. West Sussex, England: United States of America: John Wiley & Sons, Inc. ISBN: 0-471-49278-7

Seitel, A., Teber, D., Meinzer, H., Maier-Hein, L., Müller, M., Rassweiler, M., . . . Rassweiler, J. (2013). Mobile augmented reality for computer- assisted percutaneous nephrolithotomy. *INTERNATIONAL JOURNAL OF COMPUTER ASSISTED RADIOLOGY AND SURGERY*. doi:10.1007/s11548-013-0828-4

Shaer, O., & Hornecker, E. (2009). Tangible User Interfaces: Past, Present, and Future Directions. *Foundations and Trends in Human-Computer Interaction*, 3(12), 1-137. doi:

10.1561/1100000026.

Acedido

em

<http://strathprints.strath.ac.uk/32851/1/TUISurveyFnTHCI2010.pdf>

Silva, R., Oliveira, J., & Giraldi, G. (2003). Introduction to Augmented Reality. National Laboratory for Scientific Computation. Acedido em <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.63.4105>

Siscoutto, R., & Brega, J. (Ed.). (2011). *Tendências e Técnicas em Realidade Virtual e Aumentada* (1st ed., Vol. 1, pp. 1-158). Porto Alegre: Sociedade brasileira de computação.

Ullmer, B., Ishii, H., & Jacob, R. (2005). Token+Constraint Systems for Tangible Interaction with Digital Information. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 12(1), pp. 81-118. Acedido em <http://www.cs.tufts.edu/~jacob/papers/ullmer.tochi.pdf>

Vairinhos, M. (2014). Artefactos tangíveis e adaptáveis no ambiente doméstico.

Universidade de Aveiro, Portugal

Vallino, J. (1998). Interactive Augmented Reality. Acedido em <http://cursa.ihmc.us/rid=1N4323QCV-1CKQMMJ-32NV/Interactivity%20augmented%20reality.pdf>

Zaphiris, P., & And, C. (2009). *Human Computer Interaction: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications* (Vol. 1, 2, 3, 4). Hershey: Information Science Reference. ISBN: 978-1-60566-052-3 (hardcover), ISBN: 978-1-60566-053-0 (ebook). Acedido em http://neerci.ist.utl.pt/neerci_shelf/LEIC/2%20Ano/2%20Semestre/Interface%20Pessoa-Maquina/Bibliografia/Human_Computer_Interaction.pdf

Anexo

Ao presente documento corresponde um anexo digital onde é disponibilizado algum do código fonte desenvolvido na criação do sistema de navegação apresentado.

Funcionando como um repositório on-line, o anexo conta com uma organização entre o código desenvolvido para o microcontrolador Arduino e o desenvolvido para a plataforma Unity, sendo feita a sua divisão pelas pasta correspondentes. Devido a um maior desenvolvimento para Unity, a pasta em questão encontra-se igualmente subdividida, onde scripts referentes a uma mesma tarefa são agrupados em subpastas, como é o caso do *threading* desenvolvido para otimização da captura da janela do software ultra som e de alguns exemplos das manipulações possíveis aos modelos tridimensionais.

O anexo descrito encontra-se disponível para consulta em:
https://dl.dropboxusercontent.com/u/5979177/sistema_de_realidade_aumentada.zip