

Influência da Distância e Iluminância na Detecção de Marcas em Realidade Aumentada aplicada à Estimulação Magnética Transcraniana

José Soeiro, Ana Paula Cláudio, Maria Beatriz Carmo

BioISI – Biosystems & Integrative Sciences Institute, University of Lisboa, Faculty of Sciences

jtsoeiro@fc.ul.pt, apclaudio@fc.ul.pt, mbcarmo@fc.ul.pt

Hugo Alexandre Ferreira

Institute of Biophysics and Biomedical Engineering, University of Lisboa, Faculty of Sciences

hferreira@fc.ul.pt

Resumo

O estudo foi levado a cabo durante o desenvolvimento de uma aplicação móvel de Realidade Aumentada que representa modelos virtuais 3D do cérebro de um paciente sobre a imagem real da sua cabeça. O objetivo principal da aplicação é guiar os médicos no uso de uma terapia médica não invasiva, designada por Estimulação Magnética Transcraniana, que utiliza estímulos eletromagnéticos para tratar problemas neurológicos. O rastreio destas marcas provou ser um dos desafios principais da aplicação implementada e observámos que as condições luminosas e a distância às marcas são dois dos fatores principais que podem influenciar a sua deteção com precisão.

Palavras-chave: Realidade Aumentada, Realidade Virtual, aplicação móvel, iluminância, distância, Estimulação Magnética Transcraniana

Title: Influence of Distance and Illumination on Detection of Marks in Augmented Reality applied to Transcranial Magnetic Stimulation

Abstract

The study was carried out while developing an Augmented Reality mobile application that represents 3D virtual models of the brain of a patient over the real image of the patient's head. The main purpose of the application is to guide doctors during a non-invasive medical procedure called Transcranial Magnetic Stimulation that uses electromagnetic stimulation to treat neurological problems. The tracking of these markers have proven to be one of the more challenging components of such an application and we observe that lighting conditions and distance to the markers are two of the main factors that can influence their accurate recognition.

Keywords: Augmented Reality, Virtual Reality, mobile application, illuminance, distance, Transcranial Magnetic Stimulation

1 Introdução

A Realidade Aumentada (RA) e a Realidade Virtual (RV) são técnicas de visualização que pertencem ao “*virtuality continuum*” [Milgram & Kishino 1994]. Este *continuum* permite a classificação das técnicas de acordo com a quantidade de elementos virtuais que possuem, em comparação com a quantidade de elementos reais visualizados. Nos extremos deste *continuum* encontramos, por um lado, os ambientes reais e, no seu oposto, a RV, que providencia visualizações exclusivamente virtuais. Na parte central temos os ambientes de RA que sobrepõem elementos virtuais a imagens reais com o intuito de “aumentar” a informação que o utilizador percebe do ambiente real.

Atualmente existe uma multitude de aplicações de RA em áreas como o Entretenimento, o Turismo, a Indústria, o treino militar, a Educação, o Comércio, entre outras. Também a Medicina tem sido uma área na qual muitos cenários de uso diferentes da RA têm sido estudados e várias aplicações foram já desenvolvidas [Kersten-Oertel et al. 2013]. No entanto, a adoção destas novas técnicas nos ambientes médicos tem sido lenta, devido a vários fatores, como limitações do equipamento, baixa precisão do rastreio e registo e falta de sincronização quando o médico, o paciente ou o equipamento se movem [Liao & Edwards 2013]. Alguns outros problemas que dificultam a adoção de soluções de RA têm sido: custos elevados, visualizações confusas com demasiada informação, ecrãs pouco confortáveis para o utilizador, dificuldades integrando os sistemas de RA no local e no fluxo de trabalho e também alguma desconfiança dos utilizadores em relação aos reais benefícios da adoção destes sistemas.

A Estimulação Magnética Transcraniana (EMT) é um procedimento médico não invasivo que utiliza estimulação eletromagnética para tratar problemas neurológicos. Estudos mostraram que esta terapia é efetiva ou provavelmente efetiva para depressão *major* resistente à terapêutica farmacológica [Lefaucheur et al. 2014] e também para dor neuropática, sintomas negativos da esquizofrenia e perda de função associada a acidente vascular cerebral [Lefaucheur et al. 2014] [George & Post 2011] [Berlim et al. 2013]. A EMT também é usada para avaliar danos causados por acidentes vasculares cerebrais, esclerose múltipla, esclerose lateral amiotrófica, perturbações do movimento, doença do neurónio motor e outras doenças, porque permite a medição da conexão entre o cérebro e um músculo [Groppa et al. 2012].

Neste procedimento, um aparelho de estimulação é utilizado para aplicar estímulos eletromagnéticos a uma área específica na cabeça do paciente de forma a estimular os neurónios nessa área. Esta área varia de acordo com o uso médico pretendido para o procedimento e o médico pode não obter uma reação imediata do paciente que permita perceber se a aplicação está a ser efetuada na área correta. Além disso, a área em questão e a sua localização podem mudar ligeiramente de paciente para paciente. Assim, visualizar um modelo virtual do cérebro do paciente alinhado com a sua cabeça durante o procedimento pode ser extremamente útil para os médicos e aumentar a precisão e consequentemente também a segurança da EMT.

Com isto em mente, desenhámos e desenvolvemos uma solução de RA que pode guiar o médico enquanto aplica a EMT a um paciente. Esta solução é uma aplicação Android que permite visualizar um modelo virtual do cérebro do paciente, obtido previamente a partir do

processamento de imagens de Ressonância Magnética. A aplicação implementada tem dois modos de uso: (i) o modo RA para mostrar o modelo virtual do cérebro sobre a imagem da câmara, alinhado com a cabeça do paciente; (ii) o modo RV que, num ambiente exclusivamente virtual, permite ao utilizador interagir com o modelo, alterando a escala ou aplicando rotações. A aplicação também tem uma funcionalidade de Visualização Seletiva, que permite ao utilizador selecionar as áreas do cérebro a visualizar. A aplicação é descrita com detalhe em [Soeiro et al. 2015]. A Figura 1 mostra uma captura de ecrã do modo RA na qual se observa a representação da bobina usada na EMT sobreposta ao modelo virtual do cérebro.



Figura 1 – Captura de ecrã do modo RA. No modelo do cérebro, a área vermelha representa a região do cérebro a estimular na EMT.

Para implementar o modo RA, utilizámos marcas fiduciais colocadas numa touca que se adapta à cabeça do paciente. As marcas consistem em padrões de quadrados pretos num fundo branco envolvidos por uma moldura preta. Estas marcas podem ser reconhecidas – rastreadas – pela aplicação na imagem da câmara e depois usadas como referências para alinhar corretamente o modelo virtual do cérebro com a cabeça do paciente. Para garantir o alinhamento correto do modelo virtual do cérebro de um paciente, é necessário que, quando se obtém este modelo pela primeira vez, seja retirada a informação de como se relaciona o referencial obtido para o modelo com os referenciais das marcas. O rastreamento das marcas é feito usando um *Software Development Kit (SDK)* da empresa Metaio (www.metaio.com).

Para que o modelo virtual seja representado, a aplicação tem, pelo menos, que reconhecer uma marca. Por este motivo usámos várias marcas, colocadas em diferentes posições na cabeça do paciente, para permitir a visualização do modelo virtual a partir de um número variado de perspetivas. Quando usa a aplicação, a mão do médico que segura o aparelho de estimulação da EMT pode ocultar algumas das marcas. Para reduzir o risco de todas as marcas visíveis ficarem ocultas, usa-se um maior número de marcas de pequena dimensão. Então, apesar de as marcas mais pequenas serem mais difíceis de detetar a grandes distâncias da câmara, optámos por uma configuração com 9 marcas de 15 milímetros (mm) dispostas como pode ser visto na Figura 2. Esta medida de 15 mm é o comprimento de lado da marca dentro da moldura preta.

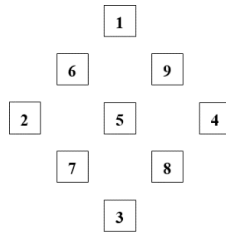


Figura 2 – Esquema da disposição das marcas.
A marca número 5 está no topo da cabeça.

As marcas foram impressas e coladas em cartão, no qual foi colado velcro. Foi colocado velcro também na touca, nas 9 posições desejadas, permitindo a fixação das marcas nessas posições. Ao colocar a touca na cabeça do paciente, o médico deve garantir que as posições das marcas são as corretas, alinhando a marca 1 com a testa do paciente, a marca 3 com a nuca do mesmo e as restantes marcas da forma ilustrada nas Figuras 2 e 3, de forma a que o posicionamento da touca seja o mais semelhante possível entre sessões. Durante o desenvolvimento da aplicação usámos um modelo de cabeça de plástico para testar o modo RA. Uma melhor compreensão do formato e disposição das marcas pode ser obtida vendo-as na touca colocada no modelo de cabeça, como mostrado na Figura 3.



Figura 3 – Modelo de cabeça com a touca e as marcas.

O rastreio das marcas pode ser comprometido por diversas razões. Para além de movimentos da câmara que desfocam a imagem capturada, duas das principais razões são as condições de luminosidade fortes a incidir nas marcas (por exemplo, gabinetes com janelas amplas, viradas a sul) e as distâncias elevadas entre estas e a câmara. Para estudar a influência destes dois fatores na deteção de uma marca realizámos um teste de distância e iluminância.

Na secção 2 descrevemos o estudo e apresentamos e analisamos os seus resultados. Na secção 3 tiramos conclusões do nosso trabalho.

2 Estudo da distância e da iluminância

Durante o desenvolvimento da aplicação constatámos que em situações de incidência de forte luminosidade sobre as marcas havia problemas na deteção dos padrões na imagem capturada pela câmara. Além disso, se a câmara estivesse mais distante das marcas, estas

apareciam mais pequenas na imagem capturada e era mais difícil para o *software* reconhecer os padrões e identificar as marcas.

Com base nesse conhecimento, tornou-se relevante avaliar a real influência da intensidade da luz e da distância nas capacidades de rastreio da aplicação. Para realizar este estudo considerámos duas variáveis independentes: a distância – medida em centímetros (cm) – e a iluminância – medida em lux (lx).

A grandeza Iluminância define-se como o total de fluxo luminoso incidente numa superfície, por unidade de área. Pode ser vista como a intensidade da luz, da forma que é percebida pelo olho humano, que atinge ou atravessa uma superfície. De acordo com o Sistema Internacional de Unidades, a iluminância é medida em lux ou lumens por metro quadrado. Pode ser medida usando um luxómetro como o da Figura 4.



Figura 4 – Luxómetro usado no estudo de distância e iluminância.

Na secção 2.1 descrevemos o estudo que realizámos. A secção 2.2 apresenta e discute os resultados do estudo.

2.1 Descrição do estudo

O objetivo deste estudo foi avaliar o rastreio de uma marca sob diferentes condições de distância à câmara e iluminância. Efectuou-se o estudo apenas com uma marca na touca e determinou-se a percentagem de *frames* da aplicação nas quais a deteção da marca falhava. Para esse propósito, definimos dois contadores: um contando o número de *frames* nas quais a deteção falhava e o outro contando o número total de *frames*. A contagem começava ao premir um botão temporariamente adicionado à interface da aplicação e parava quando o número total de *frames* chegava a 500.

A aplicação destina-se ao uso dentro de gabinetes médicos, por isso realizámos o estudo dentro de portas, numa sala que recebia luz de uma única janela. O modelo de cabeça com a touca e a marca foi colocado em diferentes posições na sala, a diferentes distâncias da janela, para receber níveis diferentes de iluminância. Estes níveis foram medidos colocando o luxómetro diretamente sobre a marca, para garantir que medíamos a iluminância que incidia sobre esta. Depois do modelo de cabeça estar corretamente colocado, usávamos a aplicação, apontando a câmara para a marca a uma distância predefinida, medida com fita métrica, e premíamos o botão na interface para iniciar os contadores. Após 500 *frames*, registávamos o número de vezes que a deteção da marca tinha falhado, como indicado pelo contador, e repetíamos o mesmo procedimento a uma nova distância entre a câmara e a marca. Depois de obtermos os valores para cada distância predeterminada, mudávamos a localização do modelo de cabeça de forma a ficar sujeita a outro valor de iluminância a

considerar no estudo e depois repetíamos o teste para todas as distâncias escolhidas.

Realizámos este teste a 9 distâncias diferentes entre a câmara e a marca: 5 cm, 10 cm, 20 cm, 40 cm, 60 cm, 70 cm, 80 cm, 90 cm e 100 cm. O estudo não incluiu nem distâncias abaixo dos 5 cm nem distâncias acima dos 100 cm. Distâncias inferiores a 5 cm impediriam a câmara de capturar a marca inteira; distâncias superiores a 100 cm não seriam realísticas considerando o tipo de uso planeado para a aplicação (o procedimento médico EMT).

A escolha dos valores de iluminância testados teve por base a discussão de [Halsted 1993], referenciada por [Gabbard et al. 2006], na qual são identificadas gamas de valores de iluminância que correspondem às condições de luminosidade de diferentes ambientes (Tabela 1).

Níveis de iluminância abaixo de 1 lx correspondiam a condições luminosas em que a marca não estava visível, por isso não considerámos esses valores. Para a gama de 1–100 lx observámos que havia grandes diferenças nos resultados entre vários valores de iluminância nessa gama, por isso considerámos três diferentes valores de teste: 5 lx, 10 lx e 50 lx. Nas gamas 100–2,000 lx, 2,000–10,000 lx e 10,000–25,000 lx escolhemos um valor intermédio para cada uma: 1,000 lx, 5,000 lx e 15,000 lx. Como o luxómetro disponível apenas media valores de iluminância até um máximo de 20,000 lx, não nos foi possível testar valores nas duas gamas superiores de condições ambientais (Tabela 1). Também era relevante estudar os níveis de iluminância derivados de luz artificial, por isso, num outro caso de teste, fechámos a janela que era a única fonte de luz natural e ligámos uma lâmpada, que fornecia na marca valores de iluminância de cerca de 50 lx.

Tabela 1 – Gamas de iluminância para diferentes condições ambiente [Gabbard et al. 2006].

| Condição Ambiental | Iluminância (lx) |
|--------------------|------------------|
| Sol brilhante | 50,000 – 100,000 |
| Luz difusa | 25,000 – 50,000 |
| Enevoado brilhante | 10,000 – 25,000 |
| Enevoado escuro | 2,000 – 10,000 |
| Dia muito escuro | 100 – 2,000 |
| Pôr-do-Sol | 1 – 100 |
| Lua cheia | 0.01 – 0.1 |
| Luz estelar | 0.001 – 0.001 |

O *smartphone* utilizado para este teste foi um *smartphone* Samsung Galaxy S4, com um processador quad-core de 1.6 GHz, 2 GB de memória RAM, GPU PowerVR SGX 544MP3, uma câmara de 13 MP, resolução de ecrã de 1080x1920 px e com o sistema operativo Android 4.4.2 Kit-Kat.

2.2 Resultados do estudo e discussão

Os resultados do teste estão resumidos na Tabela 2. Cada célula na tabela mostra a percentagem de *frames* na qual a deteção da marca falhou. Assim, um valor de 100% indica que a deteção falhou em todas as *frames*, enquanto um valor de 0% mostra que a marca foi perfeitamente detetada em todas as *frames* do teste.

Dos resultados do teste várias tendências podem ser observadas. Primeiro, é possível verificar que, a partir de uma certa distância, a deteção das marcas fica muito difícil. Para a maior parte das iluminâncias consideradas, passa a haver problemas de deteção da marca a partir de 80 cm de distância. No entanto, para iluminâncias muito baixas (5 lx) ou muito elevadas (15,000 lx) já existem problemas de deteção a distâncias inferiores. Por outro lado, a uma distância de 5 cm as capacidades de deteção também pioraram para os valores elevados e baixos de iluminância. Apesar de este facto poder parecer estranho, pode ser compreendido porque a câmara é mais sensível às condições de luminosidade extremas a uma distância muito próxima da marca, sendo mais difícil capturar uma imagem nítida desta.

No que respeita à iluminância, observamos que com 5 lx, valor que corresponde a um ambiente muito escuro, a deteção da marca é muito fraca, sendo razoável apenas a valores de distância perto de 10 cm. Valores de iluminância de 10 lx já permitem o reconhecimento da marca para valores intermédios de distância (entre 10 e 70 cm) e de 50 lx a 5,000 lx o rastreio da marca funciona bem até para distâncias de 5 cm. Para níveis de iluminância de 15,000 lx a gama de distâncias permitidas para a deteção funcionar bem é novamente mais pequena, de 10 a 60 cm.

Tabela 2 – Resultados do estudo de distância e iluminância.

| Distância / Iluminância | 5 cm | 10 cm | 20 cm | 40 cm | 60 cm | 70 cm | 80 cm | 90 cm | 100 cm |
|--------------------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| 5 lx | 100% | 2,4% | 23% | 29,4% | 65% | 95,6% | 100% | 100% | 100% |
| 10 lx | 90,8% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 13,4% | 62,6% | 92% |
| 50 lx (artificial) | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 42,2% | 100% | 100% |
| 50 lx | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 33,6% | 65,4% | 100% |
| 1,000 lx | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 5,4% | 32,2% | 100% |
| 5,000 lx | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0,4% | 5,2% | 39,2% | 100% |
| 15,000 | 65,2% | 0% | 0% | 0% | 0% | 16% | 41,6% | 55% | 100% |

Em relação ao efeito do uso de luz artificial, verificou-se que o rastreo foi ligeiramente pior a maiores distâncias, quando comparado com casos de teste com o mesmo valor de iluminância vinda de luz natural. Ainda assim, o rastreo a distâncias intermédias ou curtas é idêntico.

Estas conclusões parecem corroborar as observações empíricas de que altas intensidades de luz a incidir nas marcas dificultam a sua deteção. Contudo, devido a limitações do luxómetro, não foi possível testar valores mais elevados de iluminância para os quais se poderiam eventualmente detetar falhas em distâncias intermédias. Ainda assim, os valores não testados correspondem a condições luminosas menos prováveis de ocorrerem dentro de portas.

Como já mencionado, este estudo foi realizado com uma marca de 15 mm, uma vez que foi este o tamanho que decidimos usar, por razões explicadas na secção 1. Algumas experiências que fizemos previamente com marcas maiores permitiram-nos confirmar a nossa intuição de que um aumento no tamanho das marcas também aumenta a distância máxima à qual as marcas conseguem ser detetadas. No nosso caso, tendo em conta a aplicação à Estimulação Magnética Transcraniana, o dispositivo móvel deve ser usado perto da cabeça do paciente, entre 20 a 50 cm de distância, por isso o tamanho escolhido para as marcas é adequado.

3 Conclusão

Este artigo descreve um estudo efetuado sobre a influência de duas variáveis na deteção das marcas: a distância entre a câmara e as marcas e a iluminância a incidir nas marcas. Os resultados do estudo corroboram a nossa intuição e observações de que a distância tem um impacto negativo e que valores muito pequenos ou muito grandes de iluminância também pioram a deteção das marcas, mesmo a distâncias próximas. Este estudo permitiu identificar quais as condições de iluminância e distâncias adequadas para o bom funcionamento das marcas com 15 mm de lado, validando o uso desta abordagem para a nossa aplicação concreta à Estimulação Magnética Transcraniana, tendo em conta as distâncias e condições de iluminância necessárias nesse procedimento.

Um protótipo funcional da aplicação já foi testado por utilizadores da área da Medicina em gabinetes médicos reais e da Engenharia Biomédica em ambientes interiores similares [Soeiro et al. 2016]. Os resultados foram muito positivos e os principais pontos de trabalho futuro incluem melhorar a estabilidade do alinhamento dos modelos virtuais e o realismo do modelo do cérebro, portar a aplicação para óculos AR e expandir as suas capacidades de visualização.

Referências

- Berlim, M. T., Van Den Eynde, F., Jeff Daskalakis, Z. (2013), “Clinically meaningful efficacy and acceptability of low-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS) for treating primary major depression: a meta-analysis of randomized, double-blind and sham-controlled trials”, *Neuropsychopharmacology*, 38(4), pp. 543–551.

- Gabbard, J. L., Swan Ii, J. E., Hix, D. (2006), “The Effects of Text Drawing Styles, Background Textures, and Natural Lighting on Text Legibility in Outdoor Augmented Reality”, *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 15(1), pp. 16–32.
- George, M. S., Post, R. M. (2011), “Daily Left Prefrontal Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation for Acute Treatment of Medication-Resistant Depression”, *American Journal of Psychiatry*, 168(4), pp. 356–364.
- Groppa, S., Oliviero, A., Eisen, A., Quartarone, A., Cohen, L. G., Mall, V., Kaelin-Lang, A., Mima, T., Rossi, S., Thickbroom, G. W., Rossini, P. M., Ziemann, U., Valls-Solé, J., Siebner, H. R. (2012), “A practical guide to diagnostic transcranial magnetic stimulation: Report of an IFCN committee”, *Clinical Neurophysiology*, 123(5), pp. 858–882.
- Halsted, C. P. (1993), “Brightness, Luminance and Confusion”, *Information Display*, 9(3), pp. 21–24.
- Kersten-Oertel, M., Jannin, P., Collins, D. L. (2013), “The state of the art of visualization in mixed reality image guided surgery”, *Computerized Medical Imaging and Graphics*, 37(2), pp. 98–112.
- Lefaucheur, J.-P., André-Obadia, N., Antal, A., Ayache, S. S., Baeken, C., Benninger, D. H., Cantello, R. M., Cincotta, M., de Carvalho, M., De Ridder, D., Devanne, H., Di Lazzaro, V., Filipović, S. R., Hummel, F. C., Jääskeläinen, S. K., Kimiskidis, V. K., Koch, G., Langguth, B., Nyfeller, T., Oliviero, A., Padberg, F., Poulet, E., Rossi, S., Rossini, P. M., Rothwell, J. C., Schönfeldt-Lecuona, C., Siebner, H. R., Slotema, C. W., Stagg, C. J., Valls-Sole, J., Ziemann, U., Paulus, W., Garcia-Larrea, L. (2014), “Evidence-based guidelines on the therapeutic use of repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS)”, *Clinical Neurophysiology*, 125(11), pp. 2150–2206.
- Liao, H., Edwards, P. J. (2013), “Introduction to the special issues of mixed reality guidance of therapy”, *Computerized Medical Imaging and Graphics*, 37(2), pp. 81–82.
- Milgram, P., Kishino, F. (1994), “A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays”, *IEICE Transactions on Information and Systems*, 77(12), pp. 1321–1329.
- Soeiro, J., Cláudio, A. P., Carmo, M. B., Ferreira, H. A. (2015), “Visualizing the brain on a mixed reality smartphone application”, *Proc. 2015 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, pp. 5090-5093.
- Soeiro, J., Cláudio, A. P., Carmo, M. B., Ferreira, H. A. (2016), “Mobile solution for brain visualization using augmented and virtual reality”, *Proc. 2016 20th International Conference Information Visualization (IV)*, Lisbon, pp. 124-129.



José Soeiro é licenciado em Matemática pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FCUL), Portugal, e mestre em Informática pela mesma Universidade. No âmbito da sua tese de mestrado desenvolveu uma aplicação que recorre a Realidade Aumentada e Realidade Virtual para visualização de modelos tridimensionais do cérebro. Tem como principais interesses de investigação as áreas de computação gráfica, animação, videojogos, realidade virtual e aumentada, design gráfico e programação móvel e web.



Ana Paula Cláudio é licenciada em Matemática Aplicada pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FCUL), Portugal, e doutorada em Informática pela mesma Universidade. É professora no Departamento de Informática da FCUL e investigadora do BioISI (Biosystems & Integrative Sciences Institute). Os seus interesses de pesquisa incluem computação gráfica, realidade virtual e aumentada, herança cultural digital, modelação e animação 3D e lecciona disciplinas de 1º e 2º ciclo sobre estas matérias.



Maria Beatriz Carmo é licenciada em Matemática Aplicada pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FCUL) e é doutorada em Informática pela mesma Universidade. É professora no Departamento de Informática da FCUL e investigadora BioISI (*Biosystems & Integrative Sciences Institute*). Tem como principais interesses de investigação as áreas de visualização, realidade aumentada, ambientes virtuais, herança cultural digital e computação gráfica.



Hugo Alexandre Ferreira é licenciado em Medicina e em Engenharia Física Tecnológica, respetivamente pela Faculdade de Medicina e pelo Instituto Superior Técnico (IST) da Universidade de Lisboa, Portugal, e doutorado em Física pelo IST. É professor e coordenador do Mestrado Integrado em Engenharia Biomédica e Biofísica e investigador do Instituto de Biofísica e Engenharia Biomédica. As suas áreas de pesquisa são as Neurociências, em particular, Conectividade Cerebral e *Neuromarketing*, e também Computação Fisiológica, incluindo Interfaces Cérebro-Computador.