

Design de Funções Transferência para Imagens Médicas 3D recorrendo a uma Interface baseada em Esboços

Pedro F. Parreira Ana R. Mendes
Dep. Bioengenharia, IST
Av. Rovisco Pais, 1000 Lisboa
{pedro.f.parreira,
ana.rita.monteiro.mendes}
@tecnico.ulisboa.pt

Daniel Simões Lopes
INESC-ID Lisboa
Rua Alves Redol, 9
1000-029 Lisboa
daniel.lopes@inesc-id.pt

Joaquim A. Jorge
INESC-ID Lisboa
Dep. Eng^a. Informática, IST
Av. Rovisco Pais, 1000 Lisboa
jorgej@tecnico.ulisboa.pt

Abstract

The visual quality of volume rendering images and the contrast between different anatomical structures strongly depends on the type of transfer function that is applied by the volume renderer. While conventional window-icon-menu-pointer approaches refer the user to apply pre-defined transfer functions for isolating specific tissues, these are not always desirable for many clinical and surgical scenarios. This leaves the user with the tedious and time consuming task of manual transfer function design. In order to make this task more natural, we propose a sketch-based interface where touch gestures are used to directly control voxel opacity and colour. We also present new transfer function design approaches that aim to reduce the number of trial and error iterations, which usually are necessary for finding appropriate transfer functions. By following our approach, users were able to more rapidly explore and understand volume data, as the number iterations necessary to obtain a desirable transfer function were reduced. For both transfer function design and volume manipulation tasks users responded more favourably to our sketch-based interface when compared to standard mouse and keyboard controls, as the former approach promotes reduced design iterations and improve the user's overall understanding of the data.

Keywords

Transfer Function, Volume Rendering, 3D Medical Images, Sketch-based Interface

1. INTRODUÇÃO

A análise de imagens médicas tridimensionais (3D) assenta muito na utilização de ferramentas que evidenciam estruturas anatómicas de interesse contidos no interior de um volume de imagens. Nomeadamente, ferramentas que promovem a manipulação das funções de transferência.

As funções de transferência definem a opacidade e a cor dos voxels, convertendo informação escalar de intensidade, em propriedades ópticas bem definidas como a cor. Por outras palavras, a manipulação de funções de transferência consiste num processo análogo à pseudo-coloração de fotografias antigas a preto e branco. A exploração do espaço de design definido pelas funções de transferência é relevante em vários contextos, desde o auxílio ao diagnóstico, passando pelo planeamento cirúrgico até ao ensino da anatomia [McGhee10; Goodman09; Botha12].

Um factor chave para a correcta manipulação destas funções consiste em disponibilizar ao utilizador informação sobre a distribuição das intensidades dos voxels, isto é, do histograma do volume de dados. A

ausência deste tipo de informação visual dificulta em muito a obtenção do resultado desejado [Lundström06].

O facto das funções de transferência serem inerentemente não espaciais (i.e., nem o domínio nem o contradomínio da função são grandezas geométricas) dificulta o processo de evidenciar estruturas anatómicas que, apesar de serem caracterizadas pelo seu lugar geométrico, não são facilmente distinguíveis em termos das intensidades dos voxels [Kindlmann02]. Por outras palavras, cabe ao utilizador a difícil tarefa de associar o domínio da função de transferência (i.e., intensidade de voxel) à estrutura anatómica de interesse. Quando se lida com imagens obtidas por Tomografia Computorizada (CT), esta dificuldade é atenuada devido ao facto das intensidades de imagens CT estarem escaladas (escala de Hounsfield) e poderem ser associadas a tecidos específicos, apresentado um claro contraste entre tecidos duros e moles. Todavia, caso a estrutura anatómica de interesse não se encontre tabelada em funções de transferência pré-definidas, ou se as imagens a serem utilizadas tenham sido adquiridas por Ressonância Magnética (MRI), obriga assim a uma interacção fortemente baseada em tentativa-erro por parte do utilizador. [Bergeest08].

Acresce-se ainda a limitação de que uma pequena alteração na função de transferência culmina, muitas vezes, numa alteração indesejada de opacidade. A rápida superação de tais limitações passa em muito por desenvolver novas interfaces que permitam o design expedito destas funções.

No que diz respeito às abordagens *Window-Icon-Menu-Pointer* (WIMP), estas tornam a definição e edição destas funções entediante e demorada. Segundo esta abordagem, o design de funções de transferência consiste num processo com várias iterações do tipo tentativa-erro, onde o utilizador empeça com as limitações acima descritas.

Uma forma de colmatar estas limitações consistiria em desenhar directamente da função de transferência e aumentar o retorno de informação sobre a imagem representada para o utilizador, conferindo uma associação de informação espacial à informação espacialmente independente da função de transferência.

O objetivo principal deste trabalho consiste em explorar novas formas de design de funções de transferência para imagens médicas 3D usando uma interface baseada em esboços onde, dando ao utilizador a possibilidade de desenhar livremente a sua própria função directamente sobre uma superfície interativa, se procura diminuir o número de iterações do tipo “tentativa e erro”. Propomos funcionalidades que permitem um rápido reconhecimento e exploração geral do binómio intensidade-anatomia. Uma vez explorados os dados e identificada a estrutura de interesse, o utilizador pode facilmente desenhar a sua função transferência com um menor número de tentativas, logo, num menor intervalo de tempo. Tanto quanto é do conhecimento dos autores, a utilização de esboços e gestos multitoque para o desenho directo de funções de transferência, sobre uma superfície interativa, é um tópico que ainda não foi devidamente explorada.

2. TRABALHOS RELACIONADOS

Existem várias aplicações que permitem a visualização e manipulação de volumes de dados médicos. Exemplos destes software são o OsiriX [OsiriX15], VolView [Volview15], voreen [Voreen15], Exposure Render [Exposure Render15] que permitem a visualização de imagens médicas produzidas por equipamentos de imagiologia médica, assim como a visualização de dados em 2D/3D/4D. Estas aplicações disponibilizam ao utilizador ferramentas para o design da função de transferência unidimensional e bidimensional [Voreen15], aplicação de cores ou a selecção de uma função de transferência dentro de um catálogo de funções previamente definidas.

No entanto, vários investigadores já reconheceram que o desenho de uma função de transferência segundo uma abordagem WIMP é um processo difícil e moroso, surgindo vários trabalhos para mitigar estas limitações [Selver07; Peng10; Chu10]. No entanto, estes trabalhos têm-se focado na criação ou adaptação automática de funções de transferência, que são geradas com base nas características presentes nos dados [Peng10; Chu10]. Alternativamente, surgem interfaces adaptadas ao

processo de desenho iterativo das funções, mas sem alterar a forma de como a função é definida [Selver07].

3. METODOLOGIA

3.1 Representação Tridimensional

A representação de volumes aqui usada consiste em usar um sistema de partículas onde cada partícula representa a cor e opacidade de um determinado voxel [Kroes12; Voglreiter12]. Este tipo de representação gráfica é adequada para estudos mais focados em interacção do que em visualização, pois os sistemas de partículas têm por norma uma resolução espacial menor e apresentam o artefacto de discontinuidade (i.e., é visível a separação entre partículas).

3.2 Função de Transferência

A função de transferência consiste num mapeamento dos valores originais de intensidade do voxel em propriedades ópticas como cor e opacidade. Estas funções podem ser classificadas como sendo unidimensionais (apenas aceitam as intensidades dos voxels) ou bidimensionais (aceitam a intensidade e norma do gradiente da intensidade) [Arens10]. Também podem ser classificadas como sendo espaciais (caso um dos valores do domínio seja uma variável espacial) ou não espacial (caso do histograma unidimensional). Neste trabalho, consideramos apenas funções de transferência unidimensionais.

Graficamente, a função de transferência faz-se acompanhar pelo histograma 1D do volume, geralmente apresentando-se em segundo plano na figura. O histograma 1D é uma representação gráfica da distribuição do número de voxels presentes no volume que possuem um dado valor discretizado de intensidade, sendo o domínio limitado pelo valor máximo e mínimo de intensidade dos voxels presentes nos dados. Assim sendo, o design de funções de transferência é muito influenciado pela informação proveniente do histograma.

3.3 Sistema Interactivo para o Desenho de Funções de Transferência

O sistema é constituída por uma mesa de grande formato, televisão de grande escala, disposta na horizontal, onde é feita a visualização dos dados, e um sistema sensores multitoque sobre a mesa, responsável pela deteção do contacto do utilizador com a superfície (Figura 1). A aplicação foi desenvolvida utilizando o motor Unity3D [Unity3D15] e executada no sistema operativo Windows 7. O computador utilizado possui um processador Intel® Core™ i7-3770K, 3.50 GHz, 16 GB de memória RAM e uma placa gráfica NVIDIA GeForce GTX 970, com 3906 MB de VRAM.

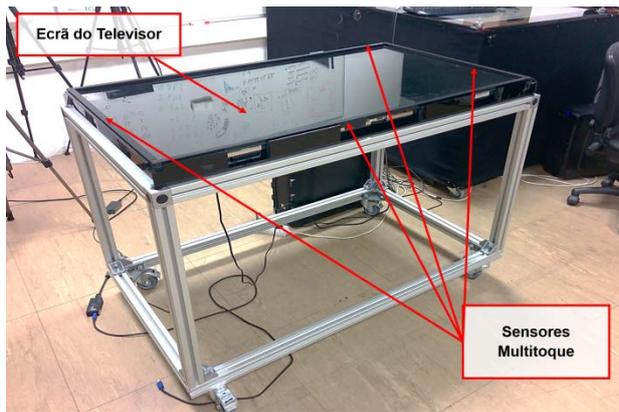


Figura 1 - Equipamento da interface com a aplicação

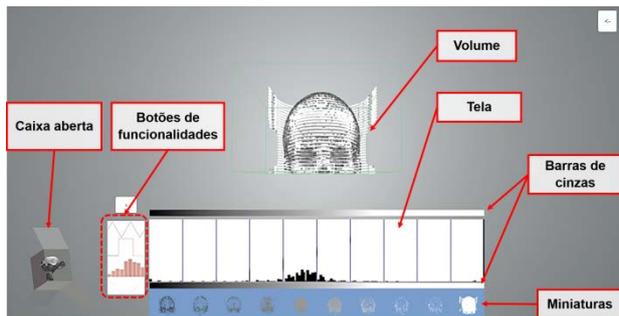


Figura 2 - Interface gráfica do sistema interativo

Em termos de interface gráfica (Figura 2), a aplicação disponibiliza o volume de imagens médicas na zona central superior do ecrã, sendo a zona inferior dedicada às ferramentas de design. A zona de design é constituída por uma tela branca, dividida em dez divisões, sobre a qual serão dispostas e desenhadas as funções de transferência. Existem também duas barras de tons de cinza acima e abaixo da mesma, bem como um conjunto de miniaturas no fundo da tela e uma caixa aberta no lado esquerdo do ecrã, cujas funções serão descritas nas subsecções que se seguem. Existe também um conjunto de botões diretamente à esquerda da tela que permitem a selecção das várias funcionalidades de esboço que pretendemos explorar. Estes botões são para as funcionalidades rampa, janela, régua, esboço, respectivamente.

3.4 Design das Funções de Transferência

Foram desenvolvidas funcionalidades inovadoras para o esboço e design de funções de transferência usando uma tela branca retangular. Esta tela apresenta em segundo plano o histograma 1D das intensidades dos voxels. Central às formas de design propostos, definimos uma divisão equidistante dos domínios da função de transferência e histograma em 10 segmentos, cada um representando 10% do domínio. Esta divisão serve, essencialmente, para ajudar o utilizador a interpretar os dados do histograma e, conseqüentemente, para auxiliar o design da função de transferência.

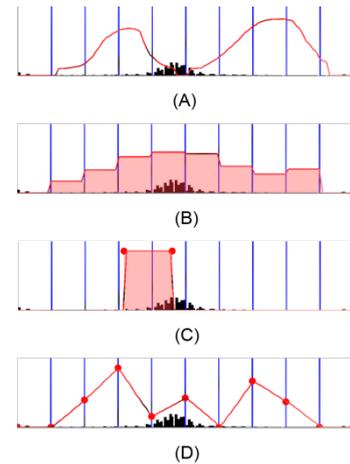


Figura 3 - Técnicas de design de funções de transferência: (A) esboço, (B) régua, (C) janela deslizante, e (D) função rampa.

O design pode ser separado em duas categorias: (i) guiado por dados (informação derivada do conjunto de dados); e (ii) guiado por imagens (utiliza as imagens do volume apresentado) [Kindlman02]. No caso da interface proposta, estamos perante um processo de desenho da função de transferência guiado por imagens. Ao todo, consideramos 5 tipos de técnicas para o design da função de transferência inicial como estão descritas nas subsecções que se seguem (Figura 3).

3.4.1 Miniaturas

Com o objetivo de facultar uma descrição global do volume de dados, é apresentado um conjunto de miniaturas disposto debaixo da tela. Cada miniatura apresenta os voxels representados pelos valores do respectivo intervalo do domínio (Figura 4).

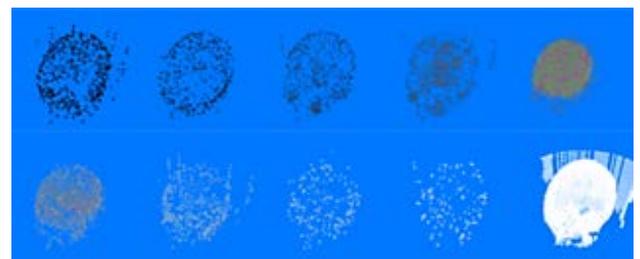


Figura 4 - Exemplo do uso de miniaturas para um volume de Tomografia Computorizada Cerebral.

Assim, cada miniatura representa 10% do domínio do histograma, facilitando a interpretação dos dados do histograma. Esta funcionalidade serve também para compensar a falta de informação espacial associada à função de transferência unidimensional, criando uma relação direta e visual entre os dados da função, nomeadamente a intensidade dos voxels, e as estruturas do volume.

3.4.2 Esboço

É dada ao utilizador a opção de desenhar livremente qualquer esboço de uma função de transferência sobre a tela (Figura 3 (A)). Uma vez desenhada a função, este é aplicada ao volume em tempo-real, vindo a substituir a função anterior. A função pode ser então modificada de

duas formas: pode ser adaptada ou redesenhada. Se um traço pequeno (menos de 50% do comprimento da tela) for desenhado, então a função ao longo do comprimento do traço é substituído por um novo segmento, adaptado do traço desenhado. Isto permite ao utilizador fazer alterações mais precisas na função de transferência, sem a necessidade de redesenhar a função na sua íntegra. No entanto, se o traço for superior a 50% do comprimento da tela, toda a função é substituída por uma função nova, adaptada ao esboço novo.

3.4.3 Réguas

Cada um dos 10 segmentos do domínio da função de transferência é sobreposto por um botão deslizante semi-transparente (Figura 3 (B)). Cada botão deslizante pode ser arrastado ou posicionado a qualquer altura dentro da tela, sendo que a posição do limite superior do botão representa a opacidade a ser atribuída aos valores da função dentro do intervalo desse respetivo botão. Vários botões podem ser movidos simultaneamente, constituindo esta técnica numa metáfora de um DJ numa mesa de som (Figura 5).

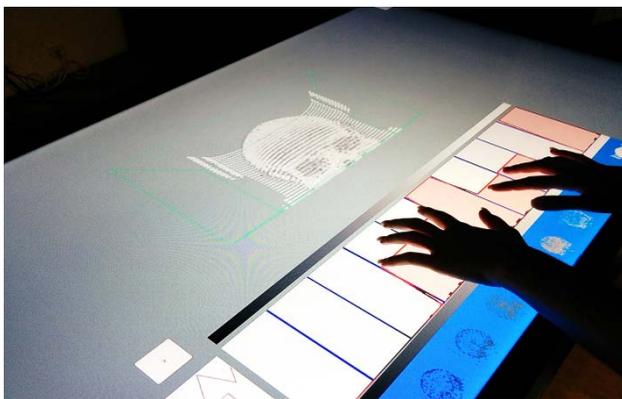


Figura 5 – Exemplo do uso de réguas seguindo a metáfora de “DJing” para obter uma aproximação inicial da função de transferência.

Note-se que as próprias miniaturas podem ser usadas como botões on/off, reduzindo a opacidade do intervalo a transparente ou opaco.

3.4.4 Janela

A janela deslizante pode ser usada para explorar todo o domínio da função de transferência, destacando os pontos representados pelo domínio contido no intervalo da janela (Figura 3 (C)). Esta janela comporta-se como um sinal quadrado, com os valores do domínio da função contido entre os limites da janela tendo um valor de opacidade proporcional à altura da mesma e os pontos fora do intervalo possuindo transparência total. A altura e largura da janela pode ser facilmente ajustada arrastando dois cursores nos seus limites superiores, sendo que a altura e largura máxima estão limitadas às dimensões da tela. A janela pode ser arrastada sobre todo o domínio, permitindo assim o varrimento dos dados na íntegra, com uma resolução definida pelo comprimento da janela utilizada.

3.4.5 Rampa

A função rampa consiste num conjunto de segmentos de recta unidos entre si por nós (Figura 3 (D)). É este tipo de

função que tipicamente se encontra nos softwares de visualização de dados volúmicos [Osirix15; VolView15; Voreen15; Exposure Render15]. A função assim definida pode ser editada através do movimento dos nós ao longo do espaço da tela, sendo que os valores intermédios entre dois nós são determinados por interpolação linear, à semelhança das aplicações tradicionais.

3.5 Protocolo para o Design de Funções de Transferência

Cada técnica aqui apresentada para o design de funções de transferência tem uma forma específica de ser utilizada, podendo ter como objetivo obter uma aproximação inicial da função de transferência ou o refinamento da mesma. As funcionalidades da janela, rampa e régua permitem uma aproximação inicial da função de transferência. No entanto, estas funcionalidades não permitem um refinamento da função, sendo que este passo terá de ser levado a cabo pela função de esboço, que permite um maior controlo de edição da função.

Quando o utilizador troca de funcionalidades, a função de transferência prévia é adaptada à nova funcionalidade, retendo parte da sua informação. A informação perdida está associada à diferente forma como as funcionalidades afectam a função de transferência. Por exemplo, a funcionalidade esboço mantém a função inalterada enquanto que as réguas fazem a média dos valores da função no intervalo de cada régua para determinar a sua posição.

Ao manipular volumes com funções de transferência, a perda de informação dificulta a análise dos volumes, aumentando o tempo necessário para obter os resultados pretendidos, contrariando os objetivos do projeto. Desta forma, torna-se importante não só determinar quais as funcionalidades a utilizar, mas também em que ordem devem ser utilizadas.

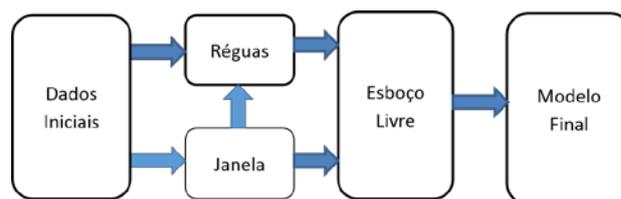


Figura 6 - Esquema ilustrativo da ordem de utilização das funções de desenho da função de transferência

Assim, protocolamos que a manipulação das representações deva ser feita de forma a que nunca se transite de uma funcionalidade com maior informação para uma de menor informação, resultando numa sucessão de técnicas representada pela (Figura 6).

3.6 Manipulação Geométrica do Volume

A visualização do volume exige a definição de pontos de vista. Para tal, a manipulação do volume de dados é feita exclusivamente por gestos multitóque. Arrastando o dedo pela superfície de toque, o utilizador pode rodar o volume em qualquer direção, sendo que a rotação irá acompanhar o movimento do dedo. Utilizando dois dedos, o utilizador é capaz de fazer zoom in ou zoom out (afastando ou aproximando os dedos, respectivamente) e de rodar o

volume segundo o eixo vertical definido pelo dedo de primeiro contacto. Se o utilizador tocar com os cinco dedos da mão, então o volume irá acompanhar a posição da mão, sendo possível assim arrastar o mesmo para qualquer ponto do espaço de trabalho. Também é possível devolvê-lo à sua posição e rotação inicial com três toques consecutivos na superfície de toque.

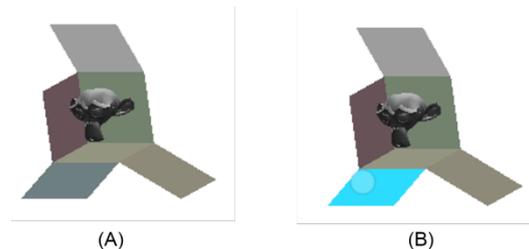


Figura 7 – Grafismo usado para a caixa aberta em modo (A) faces desactivas e (B) face (anterior) activa.

Para auxiliar a manipulação, existe também uma caixa aberta (Figura 7) no canto inferior esquerdo que permite a visualização do volume segundo a orientação das faces do cubo, como por exemplo, ao seleccionar a face inferior do cubo, a face inferior do volume seria visualizada.

3.7 Atribuição de Cores

Quando é feita a análise de imagens médicas em 3D, a atribuição de cores é importante pois permite a distinção de tecidos semelhantes (leia-se, associados a valores de intensidade) quando estes possuem opacidades iguais ou indistinguíveis ao utilizador.

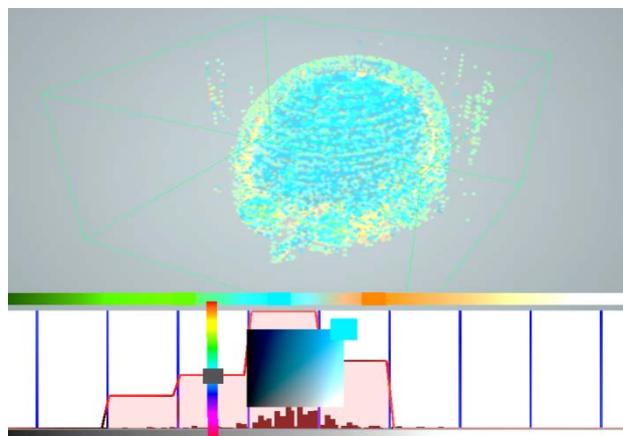


Figura 8 - Exemplo de aplicação dos cursores de cor, possuindo três cursores, interpolação de cores entre eles e uma tela de cores aberta abaixo do terceiro cursor.

Neste artigo propomos uma atribuição de cores simples, com uma ocupação do ecrã mínima e que tire partido da interacção por gestos (Figura 8). Para alcançar isto utilizamos as duas barras de escalas de cinzento, posicionadas diretamente acima e abaixo da tela. A atribuição de cores é feita interagindo com a barra superior: um duplo toque nesta barra vai criar um pequeno cursor que possui uma dada cor. Premindo o cursor uma única vez abre ou fecha uma tela de selecção de cores, que consiste numa barra de cores e de um quadrado que apresenta as diferentes saturações e luminosidades da mesma. A selecção da cor é aplicada ao

cursor em tempo real e a cor é atribuída ao volume. A posição do cursor na barra vai indicar o valor do domínio a que a cor será aplicada, sendo então interpolada até aos limites da barra ou até a outra cor, caso estejam presentes outros cursores (Figura 8).

A eliminação de cores é feita arrastando os cursores para o exterior da barra, largando-os simplesmente fora da área da tela. Se o cursor for largado noutra ponto em cima da barra, este simplesmente mudará de posição. Caso seja largado dentro da tela, dois cursores serão criados e posicionados nos extremos do intervalo em que o cursor foi largado, para que o mesmo tenha essa cor.

4. TESTES DE UTILIZADORES

Foi realizado um conjunto de testes com utilizadores do sistema desenvolvido, com o intuito de obter informação sobre as mais-valias e limitações que a mesma possa possuir no design de funções de transferência.

Os testes de utilizador realizados foram levados a cabo com três estruturas anatómicas, em que para cada estrutura era apresentada uma imagem do resultado pretendido e o utilizador teria de usar as ferramentas para obter um resultado semelhante (Figura 9).

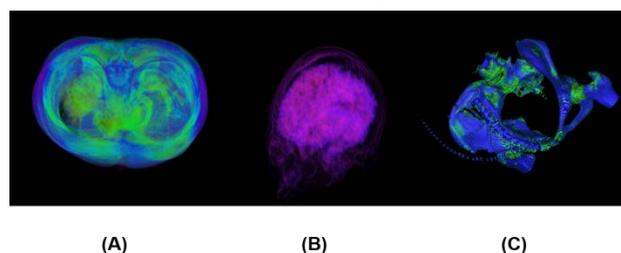


Figura 9 - Imagens de teste: (A) Angiograma Renal, (B) Ressonância Magnética Cerebral, e (C) Tomografia Computorizada da Anca.

As imagens utilizadas advêm de um angiograma renal, uma ressonância magnética cerebral e uma tomografia computadorizada da anca (Figura 9), denominados como testes 1, 2 e 3 respectivamente. Estas imagens foram obtidas através da base de dados de imagens do OsirX, Denominadas como BEAUFIX, BRAINIX e PELVIX, respectivamente [OsiriX15].

Os testes foram realizados com 9 pessoas, com idades de 24 anos \pm 5 anos, todas pertencentes a cursos de Engenharia (Licenciatura ou Mestrado). Destas pessoas, sete eram homens e duas eram mulheres. Todos os utilizadores possuíam dispositivos com controlos de toque e utilizavam os mesmos várias vezes ao dia. Antes dos testes, sete dos utilizadores já possuíam alguma experiência ou noção básica de imagens médicas, mas dois dos utilizadores não possuíam nenhuma experiência.

Os testes foram realizados em duas plataformas: No software de visualização de imagens médicas VolView [VolView15], e na plataforma desenvolvida por nós. Seguidamente foram preenchidos questionários sobre as experiências do utilizador, para serem posteriormente analisados.

Foram cronometradas os tempos de execução dos três testes para cada sistema (Tabela 1). Verifica-se uma

melhoria significativa para os 2 primeiros testes quando os utilizadores recorreram às novas ferramentas, sendo no último teste os tempos são bastante similares (Figura 10). Os tempos contemplam a aplicação da janela deslizante, uso de réguas, esboço, aplicação de transformações geométricas sobre o volume e selecção de cores.

	Teste 1	Teste 2	Teste 3
VolView	$\mu = 7,99$	$\mu = 8,05$	$\mu = 3,90$
	$\sigma = 2,24$	$\sigma = 2,55$	$\sigma = 0,89$
Sistema Interactivo	$\mu = 6,15$	$\mu = 4,89$	$\mu = 4,71$
	$\sigma = 2,51$	$\sigma = 2,84$	$\sigma = 1,57$

Tabela 1 - Tempos de execução das tarefas para cada um dos sistemas usados (em minutos).

Após os testes, a maioria dos utilizadores preferiram os comandos e ferramentas da nossa plataforma (8 dos 9 utilizadores preferiram as ferramentas apresentadas na plataforma), classificando estes como sendo de fácil utilização, comparativamente às ferramentas tradicionais (7 dos 9 utilizadores consideraram as plataforma de mais fácil utilização no geral). A maioria (7 dos 9 utilizadores) também preferiu a utilização de gestos para o desenho das funções e utilização das ferramentas.

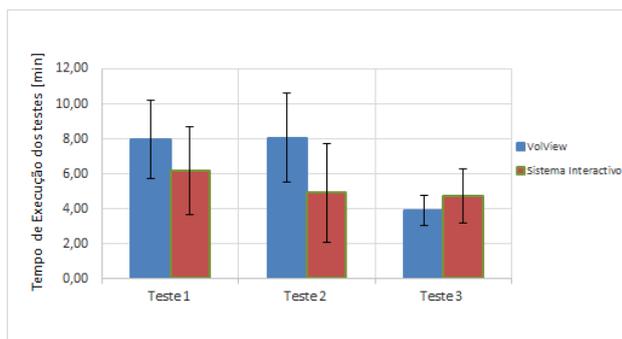


Figura 10 - Tempos de execução das tarefas (em minutos).

De entre as ferramentas apresentadas, a funcionalidade das réguas foi a mais utilizada e apreciada por parte dos utilizadores para obter uma aproximação da função de transferência (7 dos 9 utilizadores referiram-na como preferida para obter a aproximação das funções), sendo que alguns utilizadores dispensaram a utilização da janela e começaram a aproximação directamente com as réguas. Um feedback notável foi o facto da grande maioria dos utilizadores (8 dos 9) considerar que a presença das miniaturas constituía uma mais-valia na compreensão dos dados.

Também foi registada alguma preferência pela simplicidade da tela de cores utilizada na nossa plataforma. Igualmente, foi registada uma preferência dos controlos de toque para a manipulação na posição e rotação do volume (8 dos 9 utilizadores afirmaram tal), sendo a caixa-aberta considerada uma mais-valia (8 dos utilizadores afirmaram que a sua presença era benéfica), apesar de ser pouco utilizada na maioria dos casos.

5. DISCUSSÃO

Neste trabalho, explorámos o design de funções de transferência através de gestos e se as técnicas desenvolvidas permitiam obter, de forma expedita e natural, aproximações iniciais de funções de transferência, assim como se permitem uma compreensão mais imediata da distribuição espacial das intensidades em imagens médicas 3D. Desta forma, o sistema desenvolvido visa facilitar o esboço e edição da função de transferência, utilizando funcionalidades que assentam no uso de gestos para a sua utilização.

Os resultados obtidos revelaram-se muito satisfatórios no sentido em que os utilizadores mostraram uma clara preferência pelos métodos baseados em gestos. Quando confrontados com o ambiente de trabalho WIMP, os utilizadores notaram uma falta de informação em relação aos dados do volume apresentado, sendo que isto levou a dificuldades claras na manipulação da função de transferência. Estas dificuldades foram claramente mitigadas com a presença das miniaturas, levando a uma menor quantidade de tentativas até chegar a uma aproximação aceitável do volume.

A utilização de esboços também levou a que os utilizadores fossem capazes de conferir a forma desejada à função de transferência de forma mais fácil. No entanto, a liberdade conferida ao utilizador para o esboço das funções de transferência serviu ocasionalmente como um obstáculo, sendo que alguns utilizadores inadvertidamente realizavam alterações às funções de transferência que produziam resultados indesejados e substanciais no volume. Mesmo em casos extremos, em que a função teria de ser redesenhada de início, os utilizadores foram capazes de obter uma nova aproximação de forma relativamente rápida. Tal já não acontecia com as ferramentas tradicionais, onde os utilizadores tinham mais dificuldades em desfazer resultados indesejados.

Curiosamente, e em ambas as ferramentas, notou-se alguma dificuldade da parte dos utilizadores na atribuição inicial de uma cor. Foi reportado que não parecia existir uma correspondência imediata entre cor seleccionada e a respectiva coloração da estrutura anatómica de interesse. Por outras palavras, a selecção de uma cor não estava devidamente assinalada no volume representado, sendo necessário mover o cursor da cor pelo domínio para se ter noção da coloração aplicada. Ainda assim, os utilizadores revelaram preferência pela selecção e atribuição de cores usando o sistema interactivo pois permite a selecção directa da matriz de cor, saturação e brilho.

Os tempos de execução para desempenhar os testes foram menores usando o sistema proposto e similar no último teste (Tabela 1). Apesar de no geral os utilizadores terem demorado menos tempo na realização das tarefas na nossa plataforma, em várias instâncias terá ocorrido demoras na obtenção de resultados em ambos os casos devido a utilização indevida com as ferramentas ou falta de familiaridade com as mesmas ou os dados a serem utilizados. Para além disso, em alguns casos, os utilizadores ao invés de utilizarem as ferramentas para

realizar a tarefa em si, usaram-nas numa forma mais lúdica, devido à natureza singular das mesmas. Desta forma, uma análise mais detalhada dos tempos necessários para a utilização de cada ferramenta, com objectivos mais bem definidos, seriam uma mais-valia para saber objectivamente o impacto das novas ferramentas.

O estudo realizado mostra que uma interacção por gestos é não só adequada para obter uma aproximação mais fácil da função de transferência, mas também permite uma melhor exploração dos dados, principalmente quando aliada à apresentação de informação *a priori* sobre os dados no domínio da função.

6. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Neste trabalho propusemos que um conjunto de ferramentas para esboçar uma aproximação inicial de uma função de transferência e diminuir as dificuldades encontradas no desenho das mesmas. Os resultados obtidos mostram uma preferência dos utilizadores por controlos baseados em gestos, tanto no esboço das funções como no controlo dos volumes, e uma resposta positiva à apresentação de informação *a priori* sobre os dados, bem como a sua integração directa com as ferramentas.

Como trabalhos futuros, será necessário conduzir mais testes com utilizadores para atingir maior significância estatística. Adicionalmente, um novo conjunto de testes será realizado de forma a analisar em maior detalhe de que forma, e em que tarefas, as novas funcionalidades têm uma contribuição para a obtenção de melhores resultados. Estes testes serão mais focados numa análise mais pormenorizada de cada tarefa e como cada uma é afectada pelas ferramentas de ambas as plataformas.

Seguidamente, explorar novas formas de associar as modificações dos dados às alterações da função de transferência, de forma a tornar mais imediata a compreensão dos dados ao utilizador.

Futuramente, procura-se também a integração destas ferramentas com funções de transferência bidimensionais, sendo que estas possuem mais informação espacial, tornando-as capazes de uma melhor separação de estruturas anatómicas que possam possuir valores semelhantes de intensidade. [Arens81]

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro concedido pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia, nomeadamente pela bolsa de pós-doutoramento com a referência SFRH/BPD/97449/2013 e pelos fundos nacionais com a referência UID/CEC/50021/2013 e TECTON-3D PTDC/EEI-SII/3154/2012.

8. REFERÊNCIAS

- [Arens81] Arens S., Domik, G., A Survey of Transfer Functions suitable for Volume Rendering, IEEE/EG International Symposium on Volume Graphics 0, 0, 1–5 (1981).
- [Bergeest08] Bergeest, J.-P. Bergeest, Jäger, F., A Comparison of Five Methods for Signal Intensity Standardization in MRI Bildverarbeitung für die Medizin 2008, Bild. für die Medizin 2008 SE - Inform. aktuell, 36–40, (2008).
- [Botha12] Botha, C, Preim, B., Kaufman, A., Takahashi, Ynnerman, A. From individual to population: Challenges in Medical Visualization, Scientific Visualization Mathematics and Visualization, Chapter 23, 265–282, (2014).
- [Chu10] Chu, Haiyang, Chen, Li, Yong, Junhai, Feature variation curve guided transfer function design for 3D medical image visualization, Biomedical Engineering and Informatics (BMEI), 2010 3rd International Conference, 1, 0, 257–263, (2010)
- [Exposure Render15] Exposure Render
<<https://code.google.com/p/exposure-render/>>
- [Goodman09] Goodman, A., Seeing Science, Simbios, an NIH National Center for Biomedical Computing, 28, 4, (2009)
- [Kindlmann02] Kindlmann, G., Transfer functions in direct volume rendering, ACM SIGGRAPH, Course Image Process., Graph., d, (2002)
- [Kroes12] Kroes, T., Post, F.H., Botha, C.P., Exposure Render: An Interactive Photo-Realistic Volume Rendering Framework, PLoS One, 7, (2012)
- [Lundström06] Lundström, C., Ljung, P., Ynnerman, A., Local histograms for design of transfer functions in direct volume rendering, IEEE Trans. Vis. Comput. Graph., 12., 6, 1570–1579, (2006)
- [McGhee10] McGhee, J., 3-D visualization and animation technologies in anatomical imaging, J. Anat., 216, 2, 264–270, (2010).
- [OsiriX15] OsiriX Imaging Software
<<http://www.osirix-viewer.com/AboutOsiriX.html>>
- [Peng10] Peng, Yi, Chen, Li, Multi-feature based transfer function design for 3D medical image visualization, Biomedical Engineering and Informatics (BMEI), 2010 3rd International Conference, 1, 0, 410–413, (2010)
- [Selver07] Selver, M. Alper, Fischer, F., Kuntalp, M., and Hillen, W., A software tool for interactive generation, representation, and systematical storage of transfer functions for 3D medical images, Comput. Methods Programs Biomed., 86, 3, 270–280, (2007)
- [Unity15] Unity Technologies
<<https://unity3d.com>>
- [VolView15] VolView
<<http://www.kitware.com/opensource/volview.html>>
- [Vogltreiter12] Vogltreiter, P., Stochastic Particle-Based Volume Rendering, Proceedings of CESC2012: The 16th Central European Seminar on Computer Graphics, (2012)
- [Voreen15] Volume Rendering Engine
<<http://www.voreen.org/>>