

## PROPOSTA DE INTERFACE PARA VISUALIZAÇÃO DE CAMPOS DE DIREÇÕES ANISOTRÓPICAS OBTIDAS A PARTIR DE DADOS DE TOMOGRAFIA DE ESTRUTURAS ORGÂNICAS

Tiago M. Buriol<sup>a</sup>, Marco A. Argenta<sup>b</sup>, Mildred B. Hecke<sup>b</sup>, Sergio Scheer<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Grupo de Visualização do PPGMNE, Universidade Federal do Paraná, Centro Politécnico, Jardim das Américas, Curitiba/PR, Brasil, [tiagoburiol@gmail.com](mailto:tiagoburiol@gmail.com), [scheer@ufpr.br](mailto:scheer@ufpr.br)  
<http://rbv.cesec.ufpr.br/>

<sup>b</sup> Grupo de Bioengenharia, Universidade Federal do Paraná, Centro Politécnico, Jardim das Américas, Curitiba/PR, Brasil, [mildred@ufpr.br](mailto:mildred@ufpr.br), <http://www.grupo.bioengenharia.ufpr.br>

**Palavras Chave:** Visualização Científica, Imagens Médicas, Interação Digital.

**Resumo.** As características anisotrópicas de estruturas biológicas fornecem dados para caracterização desses materiais. Em estruturas vivas, a obtenção de parâmetros físicos e geométricos pode ser realizada a partir de técnicas baseadas em tomografia ou ressonância magnética. Nesse sentido, a visualização de campos tensoriais vem a ser um recurso que fornece meios de obter informações qualitativas sobre o comportamento global dos dados em estudo. Além da visualização, uma interação eficiente entre o usuário e os dados é desejável, uma vez que, oferece meios para exploração desses campos no espaço tridimensional. Apesar dos potenciais e benefícios das ferramentas de visualização, seu desenvolvimento não é uma tarefa fácil, pois, um tensor, por exemplo, codifica uma grande quantidade de informação e os meios de interagir com tais informações não são simples ou diretos. Neste trabalho é apresentado o desenvolvimento e uso de uma ferramenta para exploração visual de campos de direções anisotrópicas utilizando algoritmos para campos vetoriais e tensoriais. O aplicativo permite a visualização de campos tensoriais por meio de glifos, simultaneamente à visualização dos dados de tomografia por técnicas de renderização de volume baseada em GPU (Graphics Processing Unit). Além disso, a interação com os dados é feita utilizando-se dispositivos não convencionais como o Nintendo Wii Remote, para rastrear a ponto de vista do usuário, e monitor estereocópico. A plataforma resultante fornece uma interface intuitiva, baseada em conceitos de computação ubíqua e ambientes imersivos, para visualização e análise de campos tensoriais 3D.

## 1 INTRODUÇÃO

A geometria de estruturas biológicas normalmente assume formatos complexos, função do padrão de expressão de genes específicos do desenvolvimento. Como consequência, os materiais que compõe essas estruturas apresentam comportamentos difíceis de mensurar como densidade e propriedades mecânicas variáveis em funções da direção. As características anisotrópicas das propriedades mecânicas e, também, a sua quantificação, são parâmetros que fornecem dados para a obtenção de modelos matemáticos que descrevem o comportamento desses materiais. Em estruturas vivas, em que a execução de ensaios destrutivos não é possível, a obtenção desses parâmetros pode ser realizada a partir de técnicas baseadas em tomografia ou ressonância magnética.

Nesse sentido, a visualização dos campos de direções anisotrópicas, por exemplo, vem a ser um recurso para análise desses dados, fornecendo meios de obter informações qualitativas sobre o comportamento global, padrões e anomalias na sua distribuição espacial. Além da visualização, uma interação eficiente entre o usuário e os dados também é desejável, uma vez que, oferece meios para exploração desses campos no espaço tridimensional.

Apesar dos potenciais e benefícios das ferramentas de visualização, seu desenvolvimento não é uma tarefa fácil, pois, um tensor, por exemplo, codifica uma grande quantidade de informação e os meios de interagir com tais informações não são simples ou diretos.

Neste trabalho é apresentado e discutido o desenvolvimento e uso de uma ferramenta para exploração visual de campos de direções anisotrópicas utilizando algoritmos para campos vetoriais e tensoriais. O aplicativo permite a visualização de campos tensoriais por meio de glifos, simultaneamente à visualização dos dados de tomografia por técnicas de renderização de volume baseada em GPU (Graphics Processing Unit). Além disso, a interação com os dados é feita utilizando-se dispositivos não convencionais como o Nintendo Wii Remote, para rastrear o ponto de vista do usuário, e um monitor estereoscópico para visualização 3D. A plataforma resultante fornece uma interface intuitiva, baseada em conceitos de computação ubíqua e ambientes imersivos, para visualização e análise de campos tensoriais 3D.

## 2 LIMITAÇÕES NA VISUALIZAÇÃO DE CAMPOS TENSORIAIS 3D

A visualização de campos tensoriais envolve, em geral, técnicas de visualização mais sofisticadas do que aquelas utilizadas para campos escalares e vetoriais. Algumas vezes, tensores de ordem três podem ser simplificados para uma ordem mais baixa, porém, essas simplificações acarretam em perdas de informações. O desenvolvimento de técnicas e interfaces efetivas para visualização de campos de tensores é um desafio na área de Visualização Científica, pois a representação de campos de tensores 3D em uma simples imagem bidimensional pode omitir informações relevantes sobre os dados em análise. Uma técnica para a representação

de tensores é a utilização de glifos (glyphs) que são objetos 3D cuja geometria e atributos, como cor, posição e orientação, representam as componentes do tensor.

Existem muitos glifos que podem ser usados para representar tensores, por exemplo, podem ser utilizadas três setas ortogonais entre si, que representam os elementos de um tensor diagonal. Outra possibilidade é o Elipsóide de Lamé, em que os elementos da diagonal são mapeados para os raios de um elipsóide, também há o Shaft-and-disk em que a direção de achatamento, cor e comprimento de um disco representam os elementos do tensor (Buriol e Scheer 2006).

Porém, ao se representar campos de tensores no espaço tridimensional, pode haver ambiguidade na interpretação da imagem gerada de maneira que a distribuição espacial dos tensores não seja clara e elucidativa. Isso ocorre, em parte, pelo fato de que a visualização em monitores convencionais não provê a sensação de profundidade da visão estéreo, por exemplo. Além disso, pode haver um congestionamento de glifos no espaço, o que impede uma percepção clara do comportamento global dos dados. Os glifos que estão mais próximos do observador obstruem glifos mais afastados.

Parte dessas limitações pode ser vencida pelo uso de sistemas de visualização estereoscópica, ou simplesmente visualização 3D. Adicionalmente, rastreadores de posição podem ser usados para o desenvolvimento de interfaces baseada em conceitos de computação ubíqua, em que o usuário não necessita manipular diretamente algum dispositivo de interface para interagir com o ambiente computacional (Weiser 1994). O usuário usa o próprio corpo, realizando movimentos naturais e intuitivos para interagir e, por exemplo, modificar o seu ponto de vista em uma cena virtual 3D.

Uma dificuldade nesse sentido é que, em muitos casos, não existem ferramentas computacionais comerciais que atendam às necessidades específicas dos profissionais e pesquisadores que trabalham com análise de campos de tensores (Coelho 2007). Além disso, o desenvolvimento de programas computacionais para atender a essas necessidades pode ser inviável para esses profissionais não programadores.

Na seção seguinte será apresentada uma proposta, a qual consiste em uma plataforma conveniente para de visualização de campos de tensores, que minimiza algumas das limitações e dificuldades citadas anteriormente. Na seção 4 serão apresentados alguns resultados obtidos em experiências na visualização de tensores aplicadas à análise de características geométricas e físicas do osso trabecular obtidas a partir de dados de micro tomografia computadorizada.

### **3 UMA PROPOSTA DE INTERFACE PARA VISUALIZAÇÃO DE DIREÇÕES ANISOTRÓPICAS EM ESTRUTURAS ORGÂNICAS**

Neste trabalho, é apresentada uma proposta de interface de visualização para visualização de direções anisotrópicas usando glifos, que busca minimiza algumas das limitações e dificuldades encontradas na análise de campos tensoriais

tridimensionais. A solução utilizada basicamente integra um conjunto de ferramentas de software, tais como o Visualization Toolkit<sup>1</sup> – VTK a biblioteca Cwiid<sup>2</sup> além de dispositivos de hardware como o monitor Stereo Miracube<sup>3</sup> e controle Wii Remote<sup>4</sup> em um sistema de visualização de campos tensoriais 3D.

VTK é um sistema de software de código aberto para computação gráfica 3D, processamento de imagens e visualização (Schroeder, 2004). Consiste numa biblioteca de classes em C++ e várias camadas de interfaces interpretadas, incluindo Python<sup>5</sup>. VTK suporta uma ampla variedade de algoritmos de visualização para dados escalares, vetoriais e tensoriais. A classe `vtkTensorGlyph` da biblioteca VTK, escala e orienta glifos de acordo com autovalores e autovetores de tensores. Consiste de um filtro que replica uma representação geométrica, como um elipsóide, por exemplo, para cada ponto de entrada, ou seja, ponto do campo tensorial discretizado. VTK suporta diversos tipos de geração de imagens para a visualização estéreo. Por exemplo, no método `SetStereoType(int)` da classe `vtkRenderWindow`, o argumento `int` é o inteiro que define o tipo de estereoscopia a ser usado. Os tipos suportados pelo VTK são: `CrystalEyes`, `RedBlue`, `Interlaced`, `Left/Right`, `Anaglyph` e `Checkerboard`. Uma outra classe, chamada `vtkGPUVolumeRayCastMapper`, permite o processamento otimizado para o algoritmo ray casting via GPU (Graphics Processing Unit).

No trabalho de Johnny Lee (Lee 2008), é apresentado um rastreador de posição, de baixo custo, chamado aqui de *headtracker*. Nesse sistema, o ponto de vista do usuário é rastreado utilizando a câmera infravermelha do controle Wii Remote, ou simplesmente wiimote (controle sem fio do video-game Nintendo Wii). O wiimote é usado para captar sinais de um par de LEDs (diodo emissor de luz) infravermelhos, cujas coordenadas relativas podem ser lidas por um computador conectado ao wiimote via Bluetooth. No sistema apresentado neste trabalho, os LEDs foram fixados nos óculos do usuário (Figura 1). Os óculos, juntamente com o monitor estereoscópico, são utilizados para prover ao usuário a sensação de profundidade durante a visualização, ou seja, para prover a visão 3D. A utilização desse sistema permite que o ponto de vista do usuário seja rastreado e a câmera virtual da cena seja atualizada de acordo com a posição do usuário. A posição é atualizada a cada centésimo de segundo.

---

<sup>1</sup> <http://www.vtk.org>

<sup>2</sup> <http://abstrakraft.org/cwiid>

<sup>3</sup> <http://www.miracube3d.com>

<sup>4</sup> <http://www.nintendo.com/wii/console/controllers>

<sup>5</sup> <http://python.org>



Figura 1: Óculos para estereoscopia.

Isso permite, por exemplo, que o usuário movimente a cabeça para o lado para ver um objeto localizado atrás de outro objeto, da mesma forma como fazemos naturalmente no "mundo real". Na Figura 2 é mostrado o esquema do headtracker com o wiimote: em (a) é ilustrado três possíveis posições da cabeça do usuário (A, B e C) onde B é a posição inicial; em (b) é ilustrada a correspondente posição da câmera virtual; e em (c) é ilustrado como a câmera IR do wiimote irá "enxergar" os LEDs presos nos óculos do usuário.

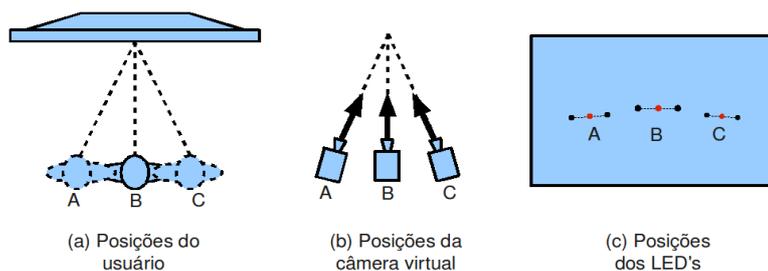


Figura 2: Esquema do headtracker utilizando o wiimote.

Na Figura 2(c) é representado em cor preta os dois LEDs captados pelo wiimote e em cor vermelha o ponto médio do segmento de reta que os liga.

#### 4 RESULTADOS

A micro tomografia consiste em uma técnica não destrutiva para obtenção de dados do interior de amostras em escala micrométrica. Esses dados são armazenados na forma de imagens digitais em escala de cinza onde nível de cinza está correlacionado com a densidade do tecido. A partir dessas imagens, é possível reconstruir a amostra e, então, separar diferentes materiais, como por exemplo, no caso em que a amostra é parte de um osso trabecular, separar o tecido ósseo de vazios no interior da amostra.

Na análise das propriedades físicas e geométricas do osso trabecular, algoritmos são utilizados para obter informações sobre as características de anisotropia na distribuição espacial das trabéculas no interior do osso. As direções anisotrópicas das trabéculas podem ser calculados utilizando-se diferentes métodos, por exemplo, baseando-se nos princípios do momento de inércia e do produto de inércia, escritos sob a forma de um tensor de inércias. Portanto, técnicas de visualização de campos

tensoriais encontram aplicação na análise das características geométricas de volumes de dados obtidos a partir de tomografia computadorizada.

Um campo tensorial pode ser visualizado de várias maneiras diferentes. Um das formas mais simples é por meio glifos. Os glifos indicam, para um conjunto discreto de pontos do domínio, os autovalores e autovetores dos tensores. Para isso os autovalores e autovetores são mapeados para a forma e a orientação da geometria dos glifos. Um campo tensorial representado por meio de glifos fornece informações qualitativas dos dados explicitando padrões em sua distribuição.

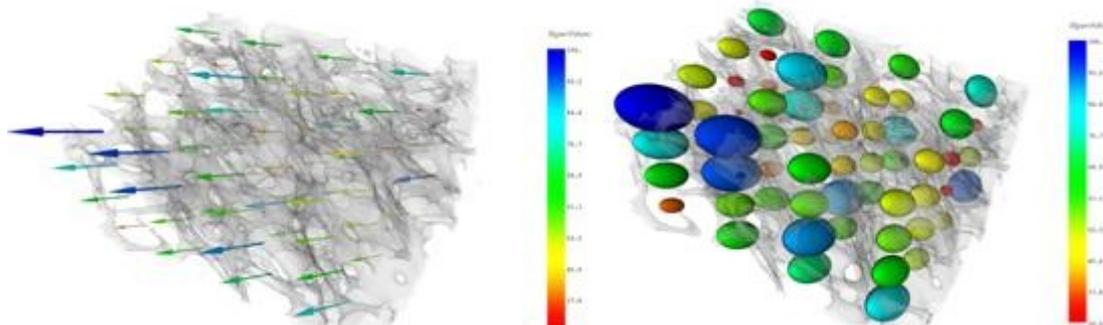


Figura 3: Campo de tensores

O volume de referência utilizado nesse trabalho foi dividido em 64 volumes menores, em cada uma das direções  $x$ ,  $y$ , e  $z$  o volume foi dividido em quatro. Então para cada subvolume foi obtido o tensor de inércias e o campo de tensores foi visualizado por meio de elipsoides e por setas. Para gerar a visualização utilizou-se a biblioteca VTK. Simultaneamente ao campo tensorial foi reconstruído o volume de referência usando o algoritmo Raycasting disponível na classe `vtkGPUVolumeRayCastMapper` o qual utiliza a GPU para realizar o processamento.

Então, para a análise do campo tensorial 3D, foi gerada a visualização em modo estéreo utilizando o método *StereoOn* do VTK (Figura 4). O modo de estereoscopia utilizado foi o *Interlaced* da classe `vtkRenderWindow`, o qual gera duas imagens distintas do mesmo objeto, uma para o olho direito e outra para o olho esquerdo. Utilizando o monitor estéreo Miracube e os óculos com filtros especiais foi, então, possível visualizar o campo tensorial 3D obtendo a sensação de profundidade. Combinando o *headtracker* com a estereoscopia, a visualização dos dados tornou-se mais significativa e a percepção da profundidade forneceu uma compreensão melhor da distribuição espacial dos tensores. Na Figura 5 é mostrada a utilização da plataforma para visualização do campo tensorial, fixado sobre o monitor é possível ver o wiimote que detecta os LEDs infravermelhos presos nos óculos do usuário. Assim, os movimentos naturais e intuitivos da cabeça do usuário, buscando um novo ponto de vista da cena, resultam em uma movimentação instantânea da câmera virtual.

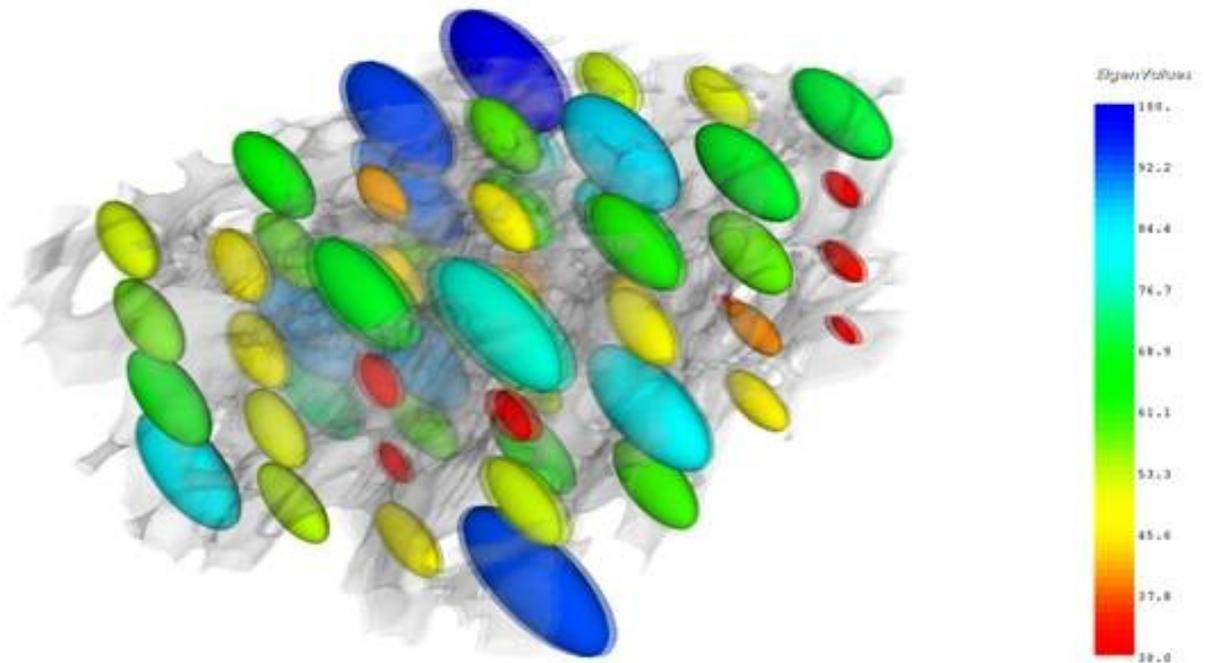


Figura 4: Imagem gerada no modo estéreo.

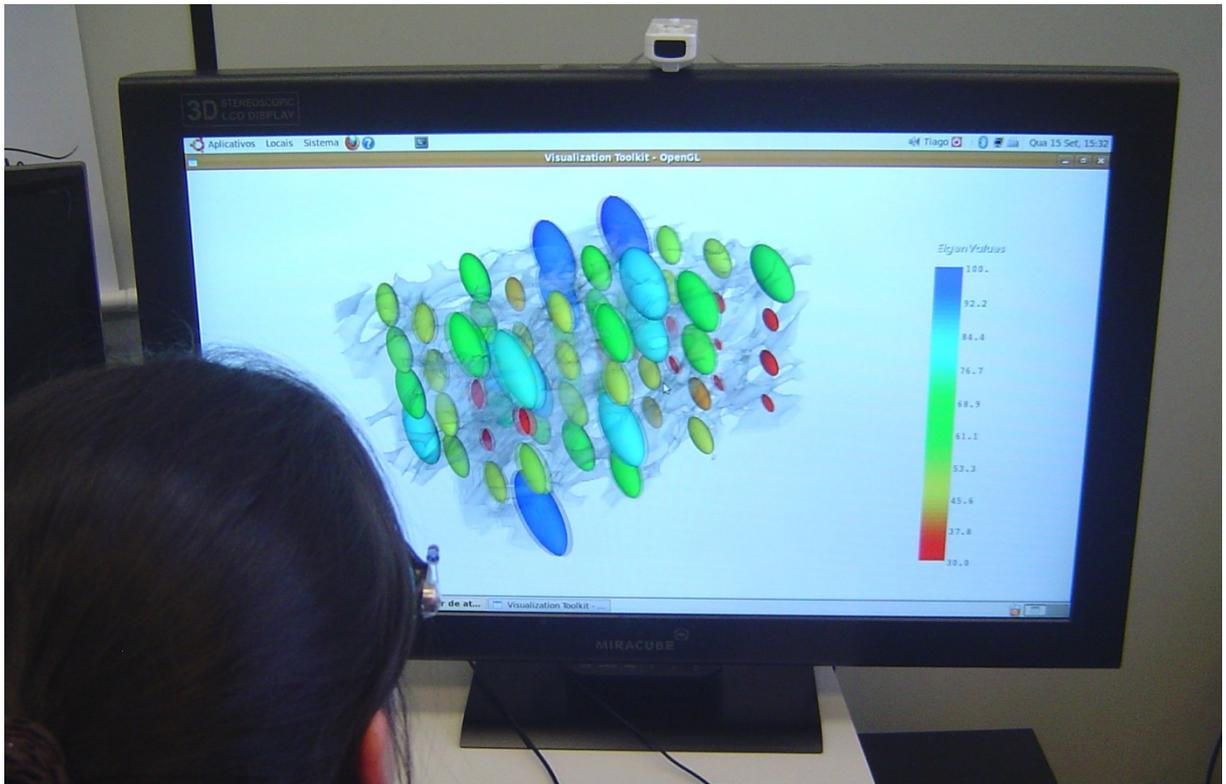


Figura 5: Visualização 3D do campo de direções anisotrópicas de um osso trabecular.

## 5 CONCLUSÃO

Nesse trabalho foi realizada uma experiência com uso de um sistema de visualização estéreo e técnicas de visualização de campos tensoriais 3D para a análise

das direções anisotrópicas do osso trabecular. Adicionalmente, foi utilizado um rastreador da posição da cabeça do usuário (*headtracker*) para permitir obter um novo ponto de vista da cena apenas movimentando a cabeça para o lado. Essa interface para visualização mostrou-se eficiente, melhorando aspectos como a percepção global da distribuição espacial dos dados. Além disso, o problema de obstrução de alguns objetos por outros foi minimizado pelo uso do *headtracker*.

## REFERÊNCIAS

- Buriol, Tiago Martinuzzi, SCHEER, Sérgio. "Processamento e visualização de campos em VRML e CAD 3D aplicados a projetos de iluminação". Dissertação de mestrado em Métodos Numéricos em Engenharia - Mecânica Computacional, UFPR, 2006.
- Coelho, Flávio Codeço. "Computação Científica com Python: Uma introdução à programação para cientistas". Petrópolis, RJ, ed.1, 2007.
- Kindlmann, G., and Westin, C.-F. "Diffusion Tensor Visualization with Glyph Packing," Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on , vol.12, no.5, pp.1329-1336, Sept.-Oct. 2006.
- Lee, J.C., "Hacking the Nintendo Wii Remote," Pervasive Computing, IEEE , vol.7, no.3, pp.3945. 2008.
- Schroeder, W., Martin, K. Lorensen, B. "The Visualization Toolkit: an object-oriented approach to 3D graphics". 3rd. ed. Kitware, Inc, 2004.
- Weiser, M. The world is not a desktop. Interactions, Vol. 1, No. 1. (January 1994), pp. 7-8.