

# Modelação Expedita de Terrenos e Subsolos via Interacção Espacial e Superfícies Interactivas

Daniel Simões Lopes  
INESC-ID Lisboa  
daniel.lopes@inesc-id.pt

Daniel D. Simão Fernando Fonseca  
Daniel Mendes Joaquim A. Jorge  
INESC-ID Lisboa,  
Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa  
{daniel.simao, fernando.fonseca,  
danielmendes, jorgej}@tecnico.ulisboa.pt

---

## Resumo

A ilustração e visualização 3D de modelos geológicos são tarefas comuns em muitas áreas da geologia. Na larga maioria dos casos, tais tarefas são realizadas recorrendo ao desenho sobre meios bidimensionais, com o intuito de transmitir uma percepção 3D aos conceitos geológicos traçados. Este artigo apresenta um sistema de interacção espacial baseada em gestos para a construção rápida de modelos e ilustrações geológicas. Os modelos caracterizam-se por serem compostos por camadas homogéneas (isto é, sem falhas nem dobras geológicas) empilhadas entre si. Partindo de cenários sem dados, o sistema permite a modelação, edição e exploração expedita de terrenos e subsolos num ambiente 3D. O princípio de modelação baseia-se no facto da geometria de um terreno ou subcamada poder ser modelada por interacção espacial. Aqui, este princípio é explorado e são analizadas a representatividade e expressividade geológica contidas em gestos. As interacções do utilizador com o sistema são adquiridas através de tecnologias de captura do movimento e mesas multitoque. A visualização é garantida por tecnologia estereoscópica que proporciona uma percepção 3D do modelo. Os resultados preliminares de estudos com utilizadores mostraram que o sistema proposto é muito útil para a visualização ilustrativa e para a rápida modelação de objectos estratigráficos, permitindo realizar uma modelação expedita de características geológicas grosseiras com um número limitado de gestos. O sistema ainda permite modelar detalhes mais finos ao interargir com a superfície interactiva via toque com os dedos. A principal conclusão é que gestos com a mão revelam-se um input bastante eficaz tanto para a criação de terrenos como de camadas estratigráficas.

## Palavras-Chave

Geologia, terrenos, subcamadas, modelação expedita, interacção baseada em gestos, visualização ilustrativa, estereoscopia.

---

## 1. INTRODUÇÃO

Ilustrar e visualizar conceitos geológicos em 3D são tarefas comuns em muitas áreas da geologia. Tais tarefas visam a comunicação de relações espaciais e temporais de possíveis configurações estruturais apresentadas por um objecto geológico [Lidal 2013; Turner 2006]. O desenho de ilustrações tridimensionais é muitas vezes realizado sobre meios bi-dimensionais como tentativa de

transmitir uma percepção espacial fora do plano de desenho. A externalização de uma ideia ou conceito, principalmente se se partir de um cenário sem dados, é uma tarefa muito comum em geologia [Natali et al. 2013]. A falta ou ausência de dados obriga o ilustrador/modelador a focar-se nas características globais do modelo, podendo então ser complementadas *a posteriori* quando mais dados estiverem disponíveis.

Assim, o processo de modelação é orientado pelo conhecimento geral do geólogo, podendo necessitar de várias iterações para produzir o resultado desejado. Note-se que cada iteração consiste num esboço rápido já que não há informações como base. Por forma a construir modelos geológicos mais detalhados são obrigatoriamente necessários dados reais.

Especialistas em geologia já expressaram a necessidade de sistemas computacionais que permitam a modelação geológica rápida de terrenos e elementos estratigráficos recorrendo a esboços bidimensionais [Lidal 2013]. No entanto, sistemas de interacção espacial, isto é, sistemas que permitem a modelação de conteúdos em 3D recorrendo à interacção espacial, conseguem fornecer um meio ainda mais rápido para construir rapidamente um modelo geológico.

Aplicações geológicas onde sistemas de desenho baseados em gestos se poderão revelar úteis são a exploração mineira e exploração de petróleo. Na primeira aplicação, a triagem inicial de uma prospecção requer a visualização de conceitos iniciais sobre arranjos estruturais. Para tal, são necessários modelos geológicos altamente precisos com uma grande quantidade de detalhes e a definição precisa das condições do subsolo, algo que pode levar vários meses para construir o modelo final [Turner 2006]. Pelo contrário em exploração petrolífera, durante a fase inicial de exploração são necessários sistemas de modelação rápida. Esta fase de exploração é caracterizada por ter muito poucos, ou mesmo nenhum, dados disponíveis o que dificulta trememente a procura de recursos inexplorados de petróleo. Desta forma, dado que a exploração e avaliação de modelos geológicos alternativos é realizada sob fortes restrições de tempo é uma tarefa adequada para sistemas de modelação rápida.

Este artigo propõe um sistema de interacção espacial baseada em gestos para a construção expedita de modelos geológicos em camadas (ou seja, terreno e subsolo). As superfícies são representadas como mapas de alturas (representação comum para modelação de terrenos e camadas). O objectivo consiste em usar o sistema para construir modelos estratigráficos para efeitos de ilustração e visualização. A simulação geológica não é aqui considerada. O sistema permite agilizar a modelação e edição assim como a exploração de modelos geológicos partindo de um cenário sem dados. Os modelos considerados são conceitos e ideias iniciais não apresentando detalhes geológicos intrincados. Uma das novidades deste trabalho consiste na realização da modelação rápida de características geológicas grosseiras com apenas um conjunto limitado de gestos no ar.

## 2. TRABALHO RELACIONADO

A larga maioria dos sistemas de modelação geológica, tais como os software Petrel e GOCAD, visam construir modelos precisos, estando focados na modelação de pequenos detalhes e pormenores geológicos com grande

exactidão e realismo. Estes sistemas requerem grandes quantidades de dados e o processo de modelação leva vários meses para ser concluído. Desta forma, estes sistemas não permitem expressar conceitos iniciais ou esboços de uma forma expedita, logo são impraticáveis para comunicar propostas alternativas de geometrias em tempo útil, uma tarefa recorrente na exploração mineira e petrolífera.

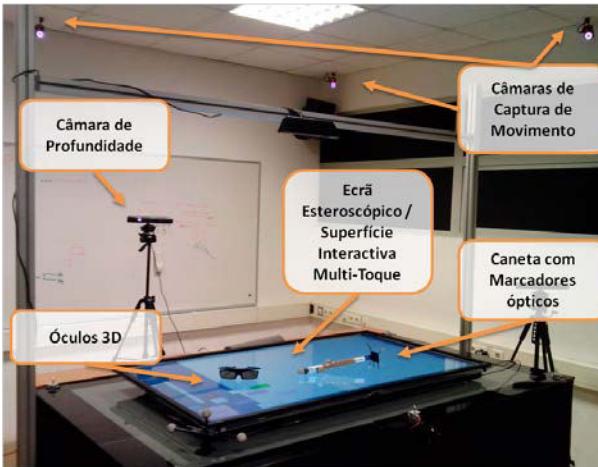
As necessidades e os desafios em desenvolver sistemas computacionais para construir de forma expedita modelos geológicos tem sido relatada em vários trabalhos [Lidal 2013; Turner 2006; Olsen 2004; Peytavie et al. 2009]. No entanto, poucos adoptam uma abordagem baseada em esboços [Natali et al. 2012; Lidal et al. 2013, Amorim et al. 2012]. Provavelmente, o trabalho mais notório relativo a sistemas computacionais para desenho de esboços geológicos é apresentado por [Lidal 2013]. Na sua tese, foram apresentados vários sistemas baseados em esboços para modelar rapidamente geometrias estruturadas por camadas. Apesar de terem sido considerados diferentes abordagens para criar esboços 3D, nenhum deles faz uso de interfaces multimodais interactivas onde gestos são usados para modelar explicitamente superfícies.

Embora a abordagem para modelação 3D de esboços usando o espaço livre (e.g., espaço em acima de uma mesa) não seja novidade [Galvean & Hughes, 1991; Schkolne et al. 2001, Keefe et al. 2001], o desenvolvimento de um sistema de interacção espacial baseada em gestos, especificamente desenhado para construir rapidamente modelos geológicos com camadas, nunca fora desenvolvido antes.

## 3. SISTEMA DE INTERACÇÃO ESPACIAL BASEADA EM GESTOS

O sistema proposto tem como objectivo modelar superfícies, nomeadamente, mapas de alturas, fazendo uso da rapidez e expressividade de gestos de mão. Por forma a exteriorizar rapidamente conceitos em superfícies, a interacção homem-computador é baseada em gestos e no toque através do recurso de tecnologias de captura de movimento assim como de uma mesa de grandes dimensões, colocado numa posição horizontal à altura da cintura e sensível ao toque (Figura 1). Já a percepção 3D do conteúdo é conseguida através de um ecrã estereoscópico usando óculos polarizados juntamente com uma câmara de profundidade que regista o posicionamento da cabeça relativamente ao ecrã (Figura 1).

O utilizador encontra-se cercado por câmaras de captura de movimento que monitorizam continuamente os marcadores ópticos que instrumentam o dispositivo de desenho (i.e., caneta). Ao interagir com a aplicação, o utilizador visualiza uma caixa virtual (*proxy*) no interior da qual pode desenhar as superfícies e aceder a um menu para evocar as diversas funcionalidades de modelação e visualização (Figura 2). A superfície do ecrã juntamente com o espaço acima da superfície, confere ao utilizador

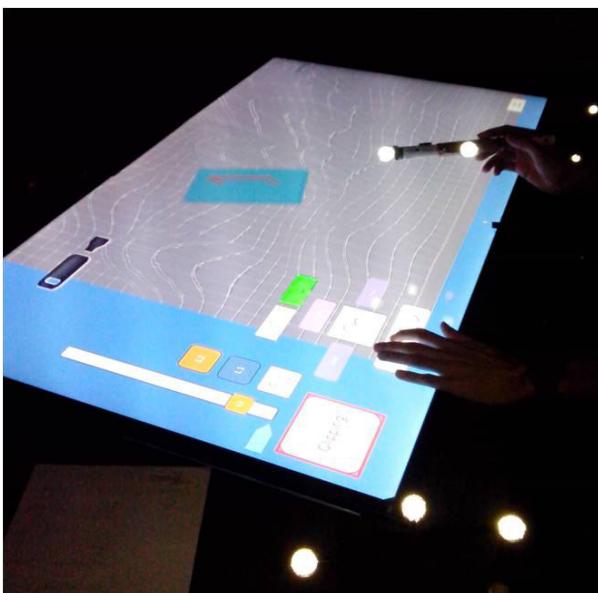


**Figura 1:** O equipamento do sistema de interacção espacial baseada em gestos.

toda a liberdade necessária para desenhar livremente no ar.

A interacção com o sistema segue um modelo bimanual assimétrico [Guillard 1987] que considera as acções do utilizador, dominância manual e espaços de interacção (Figura 3). Para este efeito, o sistema exige que o utilizador use a mão dominante (MD) para esboçar em pleno ar recorrendo à caneta com marcadores ópticos ou desenhar no ecrã multitoque. A MD pode também ser usada para mover a caixa de *proxy* e para complementar as tarefas de rotação e escalonamento realizadas em conjunto com a mão não-dominante (MND). Já as tarefas de corte da *proxy*, selecção da camada, o alternar entre visão de câmara e edição de modelo são tarefas mais adequadas para a MND.

Ainda relativamente à geração de conteúdo 3D, este é



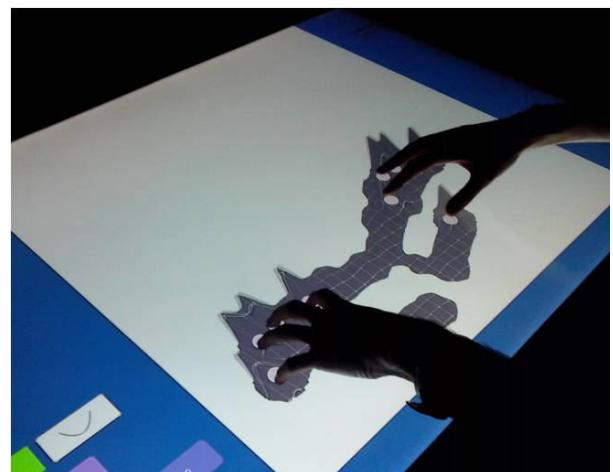
**Figura 2:** Interface de modelação e visualização 3D com exposição dos menus, caneta e proxy.



**Figura 3:** Acções do utilizador, dominância manual e espaços de interacção do sistema de interacção espacial proposto.

produzido no interior da *proxy* através de gestos no ar (apenas com a MD) e toques (com MD e MND) que actuam como inputs de modelação ou edição geométrica (Figura 2). A MD segura uma caneta devidamente instrumentada com marcadores ópticos para que as coordenadas e orientações 3D sejam adquiridas usando a tecnologia de captura de movimento em tempo real (Figura 2). Com base na posição 3D e orientação da caneta, os vértices da malha das superfícies podem ser editados no interior da *proxy*. Adicionalmente, detalhes geológicos mais finos podem ser esboçados com os dedos sobre a superfície interactiva (Figura 4).

### 3.1 Transformações Afins



**Figura 4:** Edição de uma superfície com ambas as mãos MD e MND recorrendo a multi-toque sobre a mesa estereoscópica.

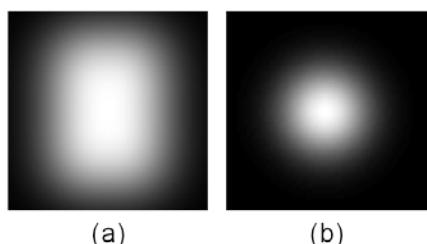
O processo de modelação exige a visualização do conteúdo 3D segundo diferentes pontos de vista. Para visualizar o conteúdo modelado, transformações afim são aplicados sobre o conteúdo da mesa recorrendo ao uso fácil do multi-toque [Kim et al. 2006]. Estas transformações são realizadas usando o seguinte conjunto de interacções com o ambiente virtual: (i) gesto de arrastar o dedo sobre a superfície para a translação; (ii) gesto de rodar dois dedos, um em relação ao outro para girar a *proxy* em torno do eixo que atravessa verticalmente o seu centro; e (iii) gesto de arrastar dois dedos juntando/afastando-os para realizar o *zoom in* e *zoom out*, respectivamente.

### 3.2 Produção Expedita de Terrenos e Camadas de Subsolo

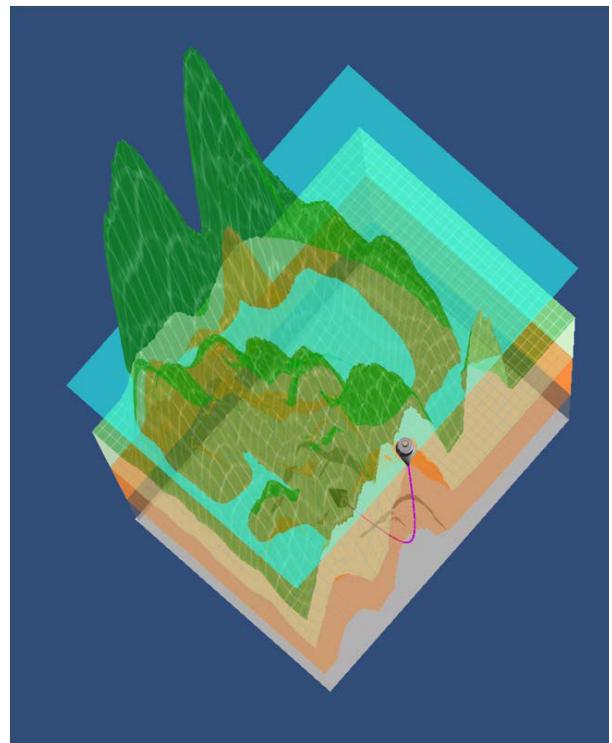
O sistema de interacção espacial aqui desenvolvido baseia-se no seguinte princípio de modelação: partindo de um cenário sem dados, a estrutura geral de uma superfície geológica pode ser modelado por um conjunto bastante limitado de interacções espaciais. Com base neste princípio, a criação de modelos geológicos faz uso de dois tipos de interacções gestuais: gestos no ar para criar o conteúdo em geral, e gestos de toque para adicionar detalhes e suavizar qualquer artefacto introduzido por gestos. Em particular, a modelação e edição de superfícies consistem na alteração de um mapa de alturas através da introdução de várias elevações e depressões. Para interacções espaciais, a altura da caneta relativamente ao ecrã táctil corresponde à amplitude de uma função super-Gaussian elíptica,

$$F_{SGE}(x, y) = A \exp \left( -\left( \frac{(x-x_0)^2}{2\sigma_x^2} + \frac{(y-y_0)^2}{2\sigma_y^2} \right)^\gamma \right) \quad (1)$$

onde  $A$  é a amplitude ou altura;  $x_0$  e  $y_0$  o centro;  $\sigma_x$  e  $\sigma_y$  a variância segundo  $x$  e  $y$ , respectivamente;  $\gamma$ ,  $\gamma \geq 1$ , o expoente que confere um formato circular ( $\gamma \approx 2$ ) ou quadrado ( $\gamma > 2$ ) à gaussiana. Note-se que uma Gaussiana circular é um caso particular da (Equação 1) quando  $\sigma_x = \sigma_y$  e  $\gamma = 1$ . Fazendo uso da orientação da caneta relativamente ao plano do ecrã é possível ainda de rodar a função  $F_{SGE}$  em torno do eixo que sai da mesa (Figura 5 (a)). Para gestos de toque, são usadas Gaussianas



**Figure 5 – Funções matemáticas usadas para representar elevações e depressões do mapa de alturas através (a) interacção espacial (super gaussiana elíptica) e (b) toque com o dedo (gaussiana circular).**



**Figure 6 – Exemplo de modelo geológico gerado pelo sistema de interacção espacial baseado em gestos.**

circulares para editar elevações ou depressões mas de área mais reduzida (Figura 5 (b)). É ainda possível introduzir várias Gaussianas circulares tocando na tela em vários pontos (Figura 4). Aqui, a convenção adoptada para construir um modelo geológico consiste em partir de baixo para cima, i.e., a primeira superfície corresponde à camada mais profunda e as camadas seguintes são empilhados por ordem estratigráfica, terminando-se com a criação da superfície do terreno (Figura 6).

Note-se que, devido à semelhança óbvia, os modelos aqui considerados designam-se por "camadas de bolo" por terem como característica dominante o empilhamento homogéneo de camadas, isto é, não apresentam falhas nem dobras geológicas.

### 3.3 Corte

Explorar o interior de uma estrutura composta por camadas recorrendo a planos de corte é um requisito necessário para revelar a quantidade de informação contida dentro do objecto volumétrico (Figura 7). Foram implementados planos de corte que se podem deslocar ao longo dos eixos canónicos horizontais.

O utilizador pode colocar planos de corte numa determinada zona de interesse, aparecendo sobre os planos de corte as linhas de fronteira entre as diferentes camadas (Figura 7 (b)).

#### 4. ESTUDO DE USABILIDADE

Um estudo de usabilidade foi realizado para verificar as vantagens e limitações do sistema de interacção espacial baseada em gestos e, mais importante, para estudar o impacto do gesto em modelação geológica.

A um total de oito utilizadores ( $25 \pm 6$  anos de idade), sem experiência prévia em modelação de terrenos ou objectos geológicos, foi pedidos para desenhar três camadas simples, na seguinte ordem: a camada inferior como uma superfície plana, a camada do meio com um canal no centro e a camada de topo como uma montanha com um único pináculo.

Todos os utilizadores relataram que o sistema permitia criar estruturas em camadas de uma forma rápida e simples. Relataram também que os gestos são adequados para definir o conteúdo geral das superfícies enquanto o toque com dedos são óptimos para atenuar os artefactos não-suaves e para adicionar pequenos detalhes. Para além disto, as transformações afim e as funcionalidades de corte foram considerados muito úteis para explorar o conteúdo gerado. A maioria dos utilizadores indicou que o rastreamento da cabeça e a estereoscopia 3D aumentam a percepção espacial do que foi modelado, enquanto que uma minoria considerou que a estereoscopia não trazia valor acrescentado.

O feedback mais notável ocorreu aquando do desenho de uma superfície plana. Embora pareça simples, tal tarefa mostrou ser bastante exigente. Os resultados obtidos consistiram em superfícies quase planas mas sempre ligeiramente inclinadas face ao plano horizontal. Tal indica que gestos no ar introduzem artefactos sempre que a modelação é restrita a superfícies ideais, como é o caso do plano.

#### 5. DISCUSSÃO

Neste trabalho apresentamos um sistema de interacção espacial por gestos especificamente concebido para modelar objectos geológicos constituído por camadas

homogéneas. O sistema permite que os utilizadores externalizem às suas ideias assim como esboçar alguns detalhes mais finos. Explora-se o princípio de modelação em que a estrutura geral de um terreno ou de uma camada estratigráfica consegue ser modelada por um conjunto de gestos grosseiros. Analisa-se também a expressividade geológica por gestos e verifica-se quanto rápido um objecto estratigráfico pode ser criado.

Os resultados obtidos foram satisfatórios em termos de rápida visualização ilustrativa e para efeitos de comunicação de ideias. Os testes preliminares com utilizadores indicam que o uso de gestos dentro de uma proxy consiste numa interface natural e fácil de usar para esboçar rapidamente modelos geológicos simples.

Além disso, o sistema permite produzir um grande número modelos geológicos alternativos num intervalo de tempo relativamente curto, comparativamente aos sistemas de desenho tradicionais que são feitos construir modelos geológicos muito precisos, que requerem grandes quantidades de dados e que exigem meses de trabalho de modelação.

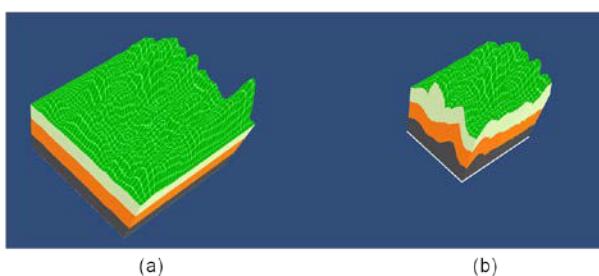
Mesmo permitindo uma modelação expedita, esboçar com gestos é um processo que requer algum treino para adquirir proficiência. Ao contrário de outras ferramentas de desenho, a metodologia é menos demorada. A novidade do método apresentado consiste em desenhar rapidamente em todo o domínio de uma caixa proxy, a fim de criar camadas de espessura variável. Detalhes mais finos podem ser adicionados às superfícies com toques.

O estudo empírico realizado com os utilizadores mostra que a técnica de interacção de esboços no ar é altamente apropriado para obter rapidamente um esboço geral, enquanto o esboço na mesa tem a vantagem de modelar uma superfície em vários lugares, com diferentes tipos de pincel e de forma colaborativa.

Como uma nota sobre ergonomia, dado que o ecrã interactivo é uma superfície bastante larga, a modelação pode tornar-se uma tarefa cansativa, difícil e desconfortável caso o alvo desejado esteja fora de alcance [Toney e Thomas 2006]. Por exemplo, tal acontece com frequência nas extremidades da superfície em relação ao utilizador. Esta limitação é parcialmente resolvida movendo o conteúdo para mais próximo do modelador na tela de toque recorrendo à opção de translação.

#### 6. CONCLUSÕES & TRABALHO FUTURO

Este trabalho apresenta um sistema baseado esboços para modelação e edição de camadas geológicas com gestos, onde as superfícies são definidas como mapas de altura. Os resultados preliminares dos testes de utilizadores mostram que o sistema proposto se revelou útil para a visualização ilustrativa e modelação rápida de objectos geológicos. A principal conclusão é que gestos no ar revelam ser eficientes na modelação de terrenos e camadas geológicas.



**Figura 7 – Cortes aplicados à proxy para efeitos de exploração do conteúdo no seu interior: (a) proxy original, (b) proxy cortada.**

Como trabalho futuro, ir-se-à explorar cenários geológicos na presença de poucos dados e de muitos dados. Para tal, recorre-se ao sistema para efectivar a conclusão rápida de um modelo recorrendo a técnicas de extrapolação e interpolação de nuvens de pontos. Futuramente, apontamos para simulações geológicas dependentes do tempo para representar cenários hipotéticos ao longo da história natural, também conhecidos como métodos inversos [Wijns 2003 Guillen et al. 2008, Caumon 2010]. Ainda como desenvolvimentos futuros, pretende-se introduzir descontinuidades geométricas nos os modelos para modelar falhas e fracturas, dado que são características comuns em muitos cenários geológicos.

## 7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o financiamento proporcionado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT). O primeiro autor agradece a bolsa de pós-doutoramento SFRH/BPD/97449/2013. O quarto autor agradece a bolsa de doutoramento SFRH/BD/91372/2012. Este trabalho foi também parcialmente financiado através dos projetos TECTON-3D PTDC/EEI-SII/3154/2012 e Pest-OE/EEI/LA0021/2013.

## 8. REFERÊNCIAS

- AMORIM R., BRAZIL E. V., PATEL D., SOUSA M. C., 2012. Sketch Modeling of Seismic Horizons from Uncertainty. Proceedings of the International Symposium on Sketch-Based Interfaces and Modeling (SBIM) '12, 1-10.
- CAUMON, G. 2010. Towards Stochastic Time-Varying Geological Modeling. Mathematical Geosciences 42, 5, 555-569.
- GALYEAN T. A., HUGHES J. F., 1991. Sculpting: an interactive volumetric modeling technique. Proceedings of the 18th annual conference on Computer graphics and interactive techniques '91 (SIGGRAPH), 267-274.
- GUIARD, Y. 1987. Asymmetric Division of Labor in Human Skilled Bimanual Action: The Kinematic Chain as a Model. Journal of Motor Behavior 19, 486-517.
- GUILLEN, A. CALCAGNO, PH., COURRIOUX, G., JOLY, A., AND LEDRU, P. 2008. Geological modelling from field data and geological knowledge: Part II. Modelling validation using gravity and magnetic data inversion. Physics of the Earth and Planetary Interiors 171, Recent Advances in Computational Geodynamics: Theory, Numerics and Applications, 1-4, 158-169.
- KEEFE D., ACEVEDO D., MOSCOVICH T., LAIDLAW D. H., LAVIOLA J., 2001. CavePainting: A Fully Immersive 3D Artistic Medium and Interactive Experience. *Proceedings of ACM Symposium on Interactive 3D Graphics '01*, 85-93.
- KIM, S.-G., KIM, J.-W., BAE, K.-T., AND LEE, C.-W. 2006. Multi-touch Interaction for Table-Top Display. Advances in Artificial Reality and Tele-Existence, Lecture Notes in Computer Science 4282, Springer Berlin Heidelberg, 1273–1282.
- LIDAL, E. M., 2013. Sketch-based Storytelling for Cognitive Problem Solving Externalization, Evaluation, and Communication in Geology. PhD Thesis. University of Bergen.
- LIDAL, E. M., NATALI, M., PATEL, D., HAUSER, H., AND VIOLA, I. 2013. Geological storytelling. Computers & Graphics 37, 5, 445–459.
- NATALI, M. AND VIOLA, I. AND PATEL, D. 2012. Rapid Visualization of Geological Concepts. In Proceedings of the 25<sup>th</sup> SIBGRAPI Conference on Graphics, Patterns and Images (SIBGRAPI), 150–157.
- NATALI, M., LIDAL, E. M., PARULEK, J., VIOLA, I., AND PATEL, D. 2013. Modeling Terrains and Sub-surface Geology. In EuroGraphics 2013 State of the Art Reports (STARs), 155–173.
- OLSEN, J., 2004. Realtime procedural terrain generation. Technical report, Department of Mathematics And Computer Science, (IMADA) University of Southern Denmark.
- PARADIGM GOCAD Software framework for subsurface modeling.  
<http://www.pdgm.com/Products/GOCAD.aspx>, Accessed: April 201
- PEYTAVIE, A., GALIN, E., MERILLOU, S., AND GROSJEAN, J. 2009. Procedural Generation of Rock Piles Using Aperiodic Tiling. In Proceedings of Pacific Graphics 28, 7, 1801–1810.
- SCHKOLNE S., PRUETT M., SCHRÖDER P., 2001. Surface Drawing: creating organic 3D shapes with the hand and tangible tools. Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems '01, 261-268.
- SCHLUMBERGER LIMITED Petrel EP Software Platform. Software package for oil and gas exploration and production.  
<http://www.slb.com/petrel.aspx>, Accessed: April 2014.
- TONEY, A. AND THOMAS, B.H. 2006. Considering reach in tangible and table top design. First IEEE International Workshop on Horizontal Interactive Human-Computer Systems, 2006. Table-Top 2006, january, 2 pp.
- TURNER, K., 2006. Challenges and trends for geological modelling and visualisation. Bulletin of Engineering Geology and the Environment 65, 2 (May), 109–127.
- WIJNS, C., BOSCHETTI, F., AND MORESI, L. 2003. Inverse modelling in geology by interactive evolutionary computation. Journal of Structural Geology Computers 25, 10, 1615–1621.