

GeoCake

Modelação Expedita de Terrenos e Subsolos com Interacção Baseada
em Gestos

Daniel Filipe Domingos Simão

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Informática e de Computadores

Orientadores: Prof. Joaquim Armando Pires Jorge
Dr. Daniel Simões Lopes

Júri

Presidente: Prof. Miguel Nuno Dias Alves Pupo Correia
Orientador: Prof. Joaquim Armando Pires Jorge
Vogal: Prof. Alfredo Manuel dos Santos Ferreira Júnior

Outubro 2014

Agradecimentos

Ao longo do desenvolvimento do trabalho abordado nesta dissertação foram várias as pessoas que, quer de forma directa, quer indirecta contribuíram para o seu sucesso e, às quais, não posso de deixar de expressar os meus agradecimentos.

Agradeço ao grupo VIMMI, do Instituto Superior Técnico, bem como aos seus integrantes e em particular ao Professor Doutor Joaquim Jorge e ao Doutor Daniel Lopes pela oportunidade de ter podido trabalhar com eles, pela orientação, pelos constantes desafios e sobretudo por toda a dedicação e disponibilidade demonstrada.

Quero ainda agradecer ao Doutor Ivan Viola e ao Doutor Daniel Patel por terem disponibilizado a aplicação *Geollustrator* indispensável para a avaliação com utilizadores feita neste trabalho.

Um especial agradecimento à minha família e amigos, aos meus avós, os meus pais e à minha namorada pelo constante apoio e paciência para comigo, bem como por terem sido fontes daquela motivação extra que por vezes foi tão necessária na concretização deste trabalho.

Por fim, um grande obrigado a todos aqueles que despenderam do seu tempo pessoal para participarem nas sessões de avaliação do sistema e ainda ao Daniel Mendes, ao Fernando Fonseca e à Sandra Gama, pelas sugestões e a disponibilidade que foram, sem dúvida, de grande ajuda para mim na resolução de alguns desafios.

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.

Ao longo desta tese é apresentado um sistema de interação espacial, baseada em gestos e movimentos da mão, para a construção rápida de modelos e ilustrações geológicas a três dimensões com e sobre uma mesa multitoque. Os modelos caracterizam-se por serem compostos por camadas homogêneas empilhadas entre si. Partindo de cenários de modelação 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 camada estratigráfica poder ser modelado por gestos na mesa e movimentos no ar.

As interações do utilizador com o sistema são adquiridas através de tecnologias de captura do movimento e de uma mesa multitoque. A visualização é garantida por tecnologia estereoscópica que proporciona, através de um par de óculos estéreo, uma percepção 3D do modelo.

Os resultados da avaliação experimental com utilizadores, nos quais o protótipo desenvolvido foi comparado com outra aplicação de modelação geológica, que fora desenvolvida para um sistema informático convencional (usando rato e teclado), mostram que o sistema proposto permite criar estruturas em camadas de uma forma rápida e simples, sendo a modelação 3D e multitoque uma alternativa válida aos processos de modelação tradicionais.

Palavras-Chave

Geologia, camadas estratigráficas, modelação expedita, interação baseada em gestos, esboços, visualização estereoscópica.

Abstract

Illustration and visualization of 3D geological models are common tasks in many areas of geology. In most cases, these tasks consist of sketching on bi-dimensional media to transmit a 3D perception of the geological concepts.

In this thesis, we present a spatial gesture and motion based interaction system for rapid construction of three dimensional (3D) geological models and illustrations on and above a multi-touch tabletop screen. The models are composed by uniform stratigraphic layers (i.e. without geological folds and faults) stacked upon each other. Starting from no-data scenarios, the system enables expeditious modeling, edition and exploration of terrains and subsoil within a tridimensional environment. The modeling principle is based on the fact that the geometry of a terrain or stratigraphic subsurface can be modeled with spatial and multi-touch gestures. The developed system enables the modeling of finer details by interacting with the multi-touch surface with the user's fingertips.

Interaction with the system is acquired by a motion capture technology and a multi-touch table. Visualization is granted by a stereoscopic technology that, using 3D glasses, allows a tridimensional perception of the created 3D scenarios.

We performed an experimental user evaluation where we compared the developed prototype with a conventional windows-icon-menu-pointer geologic modeling application. The results show that the proposed system allows the rapid modeling of layered geologic structures and that multi-touch and 3D spatial modeling is a valid alternative to traditional modeling methods.

Key words

Geology, stratigraphic layers, rapid modeling, gesture based interaction, sketching, stereoscopic visualization

Conteúdo

1.	Introdução	1
1.1	Motivação	1
1.2	Descrição do Problema	1
1.3	Objectivos	2
1.4	Solução Desenvolvida	2
1.5	Contribuições.....	3
1.6	Estrutura da Dissertação	4
2.	Trabalho Relacionado	5
2.1	Modelação geológica.....	5
2.2	Interacção Espacial	11
2.3	Visualização.....	16
2.4	Gestos em Superfície Multitoque	19
2.5	Discussão	23
3.	Solução	27
3.1	Proposta	27
3.2	Arquitectura	29
3.3	Protótipo	32
3.3.1	Interacção sobre a mesa	33
3.3.2	Interacção gestual	35
3.3.3	Modelação 3D na Mesa.....	36
3.3.4	Modelação 3D no Ar	40
3.3.5	Visualização.....	44
3.4	Discussão	47
4.	Avaliação.....	51
4.1	Metodologia	51
4.2	Tarefas.....	52
4.3	Sessões de Testes	55
4.4	Análise e Discussão dos Resultados	56
4.4.1	Tempos de conclusão	56
4.4.2	GeoCake vs Geollustrator	58

4.4.3	Análise das restantes funcionalidades	61
5.	Conclusão	65
5.1	Sumário e Contribuições	65
5.2	Trabalho Futuro	66
6.	Referências	68
	Apêndice A	74

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 - Tabela comparativa para sistemas de modelação geológica.	24
Tabela 2.2 - Tabela comparativa para sistemas de captura de gestos	25
Tabela 2.3 - Tabela comparativa para sistemas de visualização 3D	25
Tabela 2.4 - Tabela comparativa para transformações geométricas em multitoque	26
Tabela 4.1 - Tabela de tempos previstos para a sessão de testes.	51
Tabela 4.2 - Características gerais das tarefas de avaliação.	55
Tabela 4.3 - Interação de um utilizador com <i>GeoCake</i>	56
Tabela 4.4 - Resultado do Wilcoxon signed-rank test sobre os tempos dos testes.	57

Lista de Figuras

Figura 2.1 - Terreno gerado com a aplicação <i>World Machine</i> .	6
Figura 2.2 - Utilizador a editar topografia do terreno em <i>Illuminating Clay</i> .	7
Figura 2.3 - Superfície maleável do sistema <i>Relief</i> .	7
Figura 2.4 - Esboço da silhueta de uma montanha em <i>Terrain sketching</i> .	8
Figura 2.5 - Esboços usados para criação de relevo.	9
Figura 2.6 - Superfícies geradas a partir de curvas de pontos.	9
Figura 2.7 - Esboço directo numa superfície para adição de detalhes.	10
Figura 2.8 - Representação de erosão criada a partir de uma superfície implícita.	10
Figura 2.9 - <i>Setup</i> do sistema apresentado por [Ebert et al. 1996].	13
Figura 2.10 - Utilizador provido de marcadores ópticos.	13
Figura 2.11 - Utilizador a interagir com o sistema através do <i>Kinect</i> .	14
Figura 2.12 - Captação dos gestos de um utilizador recorrendo ao sistema <i>6D Hands</i> .	15
Figura 2.13 - Utilização do <i>Leap Motion</i> para captura de gestos.	15
Figura 2.14 - Comparação de uma ilustração 2D com um modelo 3D.	16
Figura 2.15 - <i>Kit Nvidia 3D Vision</i> .	17
Figura 2.16 - Sistema de visualização personalizada 3D para dois utilizadores.	17
Figura 2.17 - Sistema de realidade aumentada <i>HoloDesk</i> .	18
Figura 2.18 - Superfície multitoque desenvolvida por [Wellner 1991].	19
Figura 2.19 - Tecnologia multitoque LLP.	21
Figura 2.20 - Técnica de interacção TRS.	21
Figura 2.21 - Técnica de interacção <i>Sticky Tools</i> .	22
Figura 3.1 - Interacção de um utilizador com o sistema proposto.	28
Figura 3.2 - Modelo com poço de perfuração gerado na aplicação <i>GeoCake</i> .	28
Figura 3.3 - <i>Setup</i> do sistema.	29
Figura 3.4 - Diagrama da arquitectura do sistema desenvolvido.	30
Figura 3.5 - MD segura o instrumento de interacção (a) enquanto a MND navega no menu da GUI (b).	32
Figura 3.6 - Duas imagens 2D que compõe a imagem 3D.	33
Figura 3.7 - Ecrã de calibração da localização da mesa multitoque <i>Kinect</i> .	34
Figura 3.8 - Sistema de coordenadas física (azul) e virtual (verde).	34
Figura 3.9 - Instrumento de interacção provido de marcadores ópticos.	35
Figura 3.10 - Avatares dados aos dispositivos virtuais: talocha, caneta com ponta esférica e broca (da esquerda para a direita).	36
Figura 3.11 - Informação sobre a parte do cenário visível/oculta.	39
Figura 3.12 - Barra de selecção/ajuste de camadas.	39
Figura 3.13 - Edição através de multitoque.	40
Figura 3.14 - Gaussiana circular.	40
Figura 3.15 - Adição de conteúdo através da talocha.	41

Figura 3.16 - Adição de detalhes com a caneta.....	43
Figura 3.17 - Utilização da caneta para esboçar curvas de pontos.	44
Figura 3.18 - Esqueleto escolhido pelo <i>Kinect</i>	45
Figura 3.19 - Tampas laterais geradas entre as superfícies das camadas.	46
Figura 3.20 - Algoritmo de triangulação.	46
Figura 3.21 - Foco de luz no plano para co localização.....	47
Figura 4.1- Modelo a seguir na Tarefa 1.	53
Figura 4.2 - Modelo a seguir na Tarefa 2.	54
Figura 4.3 - Modelo a seguir na Tarefa 3.	55
Figura 4.4 - Gráfico da média e desvio padrão dos tempos levados em cada tarefa - <i>Geocake</i>	57
Figura 4.5 - Gráfico da média e desvio padrão dos tempos levados em cada tarefa - <i>Geollustrator</i> ...57	
Figura 4.6- Nível de facilidade na exploração dos cenários.	59
Figura 4.7 - Nível de facilidade na adição de detalhes aos modelos.....	59
Figura 4.8 - Nível de satisfação pelo algoritmo de ajuste de superfícies.....	60
Figura 4.9 - Nível de satisfação pelo resultado final das tarefas.	60
Figura 4.10 - Nível de facilidade geral de utilização das aplicações.	61
Figura 4.11 - Nível de satisfação dos utilizadores acerca dos planos de corte.	62
Figura 4.12 - Nível de satisfação na utilização do instrumento de interacção.	63
Figura 4.13 - Nível de satisfação acerca do aspecto dado aos avatares do dispositivo de edição.....	63
Figura 4.14 - Modelos gerados pelos utilizadores durante as sessões dos testes.....	64

Lista de Abreviaturas

Abreviação	Significado
CAD	Computer-aided Design
CoP	Center of Projection
CAVE	Computer Assisted Virtual Environment
DI	rear Diffused Illumination
DOF	Degrees of Freedom
FTIR	Frustrated Total Internal Reflection
GUI	Graphic User Interface
IR	Infrared
LLP	Laser Light Plane
MD	Mão Dominante
MND	Mão Não Dominante
PoV	Point of View
RBF	Radial Basis Functions
TPS	Thin Plate Spline
TRS	Translation Rotation Scale
WIMP	Window, Icon, Menu, Pointing device

1. Introdução

Ilustrar e visualizar conceitos geológicos em 3D, como terrenos ou subsolos, são tarefas comuns em muitas áreas da geologia e encontradas num vasto leque de aplicações. Tais tarefas visam a comunicação de relações espaciais e temporais de possíveis configurações estruturais apresentadas por um objecto geológico [Lidal 2013; Turner 2006].

Actualmente, o desenho de ilustrações tridimensionais é, normalmente, realizado em meios 2D como tentativa de transmitir uma percepção espacial fora do plano de desenho. No entanto, o aparecimento de novas formas de interacção leva-nos a pôr em causa este método, pois soluções como a visualização estereoscópica ou a interacção espacial, que recorre a câmaras de profundidade por forma a capturar e localizar gestos de um utilizador, podem providenciar um controlo preciso e experiencia tridimensional natural e eficaz no desenvolvimento de cenários geológicos.

1.1 Motivação

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. de 2013]. A falta ou ausência de dados obriga o ilustrador/modelador a focar-se nas características globais do modelo, podendo então ser complementadas mais tarde, quando mais dados estiverem disponíveis, com detalhes mais finos. 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, pois para construir modelos geológicos mais detalhados são obrigatoriamente necessários dados reais. Esta externalização pode mais facilmente ocorrer num sistema que permita que o modelador possa, à semelhança de um escultor, passar as suas ideias de forma directa para um modelo.

A percepção 3D do cenário modelado pode também ser aumentada através da combinação de visualização estereoscópica, utilizando por exemplo um par de óculos polarizados, com um sistema de seguimento da posição da cabeça. Este sistema aumenta a percepção espacial do utilizador pois, dependendo da sua posição em relação ao modelo, a imagem é gerada segundo a sua perspectiva. Em conjunto, a estereoscopia e o seguimento da cabeça, ambos transmitem ao modelador a ilusão de que os objectos da cena estão em cima da superfície de visualização, tornando estas ferramentas muito uteis para a modelação e exploração de objectos tridimensionais.

1.2 Descrição do Problema

De um modo geral, a criação de modelos geológicos 3D é feita por ilustradores, que usam programas especializados e complexos, como por exemplo o [3D GeoModeller], o [GoCAD], ou mesmo o [EarthVision]. Esta abordagem permite um aspecto muito bom, mas requer um esforço e tempo de desenvolvimento razoável.

Principalmente nas áreas geocientíficas onde rapidez na construção de um cenário tem uma grande importância [Bendiksen 2013], o tempo de desenvolvimento de um modelo geológico típico torna-se numa limitação. Por exemplo, na exploração petrolífera, a fase inicial é caracterizada por ter muito poucos, ou mesmo nenhuns, dados disponíveis o que dificulta tremendamente a procura de recursos inexplorados de petróleo. Desta forma, dado que a exploração e avaliação de modelos geológicos alternativos são realizadas sob fortes restrições de tempo, modelar esboços 3D é uma tarefa adequada para sistemas de modelação rápida. Ademais, especialistas em geologia já expressaram a necessidade de sistemas computacionais que permitam a modelação geológica rápida de terrenos assim como de elementos estratigráficos recorrendo a esboços [Lidal 2013].

Apesar de algum trabalho já ter sido feito no sentido de desenvolver sistemas que permitam uma rápida modelação geológica, a utilização de esboços para a definição de um cenário geológico recorrendo a sistemas de interacção espacial, isto é, sistemas que permitem a modelação de conteúdos em 3D recorrendo a gestos e movimentos no ar, praticamente não foi abordada.

Tal como nas ciências geológicas, também na indústria dos videojogos e em áreas como a arquitectura, aviação e um sistema que permita a modelação fácil e eficiente destas estruturas seria de grande utilidade, não existindo, em muitas delas, aplicações semelhantes para além dos normalmente utilizados sistemas de CAD. Apesar de plataformas como o [Unity3D] (desenvolvimento de jogos) ou [SketchUp] (arquitectura e design) suportarem a modelação de terrenos, o facto de não serem especializados para tal torna estes modos em geral complexos ou algo limitados.

1.3 Objectivos

Como referido anteriormente, a falta de tecnologias de modelação geológica 3D rápida, onde exista um compromisso entre o detalhe e a velocidade de modelação, e que permita a criação de um cenário a partir do zero no domínio da ilustração geológica é um ponto que pode ainda ser explorado. Assim, este trabalho almeja um ambiente de modelação expedita e exploração de cenários geológicos com um processo de aprendizagem rápido e satisfatório para os utilizadores. O sistema deve ser capaz de produzir, através de movimentos no ar e gestos sob uma mesa multitoque, modelos estratigráficos simples, proporcionando um conjunto de ferramentas que dêem ao modelador a possibilidade de materializar as suas ideias assim como de as explorar tridimensionalmente.

Tem-se ainda como objectivo, mostrar que o sistema desenvolvido é de facto uma alternativa viável a outros sistemas similares com um modo de interacção convencional (rato e teclado) [Lidal 2013, Bendiksen 2013], útil e com vantagem para o utilizador. A interacção deve ser o mais natural e o menos complexa possível quer para utilizadores experientes, quer inexperientes.

1.4 Solução Desenvolvida

Tendo em conta os objectivos propostos, foi desenvolvido um sistema de interacção espacial, baseada em esboços para a construção expedita de modelos geológicos em camadas (ou seja, terreno e subsolo), recorrendo a uma mesa multitoque a um sistema de captura de movimentos. As

superfícies são representadas como um conjunto de mapas de alturas, sendo uma representação comum para modelação 3D de terrenos e subsolos. Como referência, um mapa de alturas é uma função matemática $f:[a,b]*[c,d]$ pertencente a $R^2 \rightarrow R$.

A solução desenvolvida permite uma interacção mais directa do que com o convencional uso de rato e/ou teclado, fazendo uso de dispositivos como câmaras de profundidade e de captura de movimentos, explorando ainda as funcionalidades de uma mesa de projecção estereoscópica com superfície multitoque para facilitar a construção de maquetes [Araújo et al. 2013] e modelos geológicos.

Deste modo, a ideia consiste em usar o sistema proposto 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, sendo que os modelos considerados são conceitos e ideias iniciais, portanto, 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 e movimentos no ar.

O protótipo recorre à tecnologia de captura de movimentos [OpiTrack] a fim de capturar os movimentos da mão do modelador quer para a edição explícita de superfícies, quer para o esboço de curvas de pontos utilizadas para ajustar superfícies (*surface fitting*) que modelam terrenos e subsolos. A superfície multitoque é utilizada para interagir com a GUI (interface gráfica) e para definir transformações geométricas sobre o objecto modelado, enquanto a câmara de profundidade [Kinect] dá a posição da cabeça do utilizador relativamente à mesa de modelação de modo a criar a perspectiva de visualização para o utilizador. É de referir ainda a possibilidade das superfícies criadas serem exportadas com o intuito de poderem ser refinadas mais tarde com auxílio de outro *software* de modelação (ex. [3D Max]), ou serem utilizadas em plataformas de desenvolvimento de jogos (ex. [Unity3D], [UDK]) ou construção de maquetes.

1.5 Contribuições

Uma vez desenvolvido o sistema e realizados os testes com utilizadores, destacam-se as seguintes contribuições deste trabalho:

- Utilização de gestos e movimentos no espaço, com e sobre uma mesa multitoque, para modelação e produção rápida de cenários estratigráficos - através de poucos gestos e num curto espaço de tempo é possível gerar uma superfície representativa de uma camada estratigráfica.
- Utilização de gestos espaciais para criação de modelos geológicos como definição para novas linhas de investigação na área – A utilização de manipulação directa na recriação de paisagens geológicas, recorrendo a gestos e movimentos acima da mesa, pode ser

desenvolvida e explorada de modo a proporcionar um meio de interacção natural e com grande vantagem para modeladores na definição de cenários geológicos de camadas.

O trabalho desenvolvido no âmbito desta dissertação serviu como base a uma publicação aceite na conferência EPCG (Encontro Português de Computação Gráfica) que decorrerá em Novembro de 2014.

- Lopes D. S., **Simão D. D.**, Fonseca F., Mendes D., Jorge J. 2014. Modelação Expedita de Terrenos e Subsolo via Interacção Espacial e Superfícies Interactivas. 21º Encontro Português de Computação Gráfica '14 (EPCG).

1.6 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação contém ao todo cinco capítulos.

Após o capítulo da introdução, o segundo capítulo apresenta o estado da arte no que toca a sistemas de modelação geológica, superfícies multitoque e captura espacial de gestos. Adicionalmente, é dada uma breve contextualização a cada um dos tópicos. São abordados alguns protótipos e sistemas já existentes para a modelação geológica e discutidas as suas limitações.

O terceiro capítulo aborda a solução implementada, a arquitectura da mesma, a abordagem seguida tal como principais algoritmos implementados.

Os capítulos quatro e cinco abordam a avaliação do protótipo com utilizadores e as conclusões, respectivamente. Na avaliação são descritos os testes com os utilizadores e analisados os resultados dos mesmos.

2. Trabalho Relacionado

Com a recente inovação de tecnologias que auxiliam a captura de gestos e movimentos, tem havido uma crescente utilização de interfaces que fazem uso destas tecnologias para manipulação tridimensional de dados [Keefe et al. 2001]. No entanto, ainda pouco trabalho foi feito no sentido de áreas como a modelação geológica fazerem uso dos seus benefícios.

Neste trabalho pretendemos desenvolver um protótipo que explorasse essa lacuna, permitindo a utilização de gestos sob uma mesa multitoque 3D para criar modelos de camadas geológicas através de esboços.

Para tal, foram revistos trabalhos relevantes neste sentido que possibilitaram uma melhor compreensão de como proceder no desenvolvimento do trabalho, assim como quais as lacunas a resolver. Em seguida, será apresentado um conjunto de trabalhos e tecnologias que influenciaram este trabalho, desde a modelação geológica, em particular de terrenos e subsolos, até à captura de gestos e visualização estereoscópica.

2.1 Modelação geológica

Entre geólogos é pratica comum a criação de modelos geológicos representativos, quer à mão, quer recorrendo ao computador, podendo se diferenciar dois tipos de modelo distintos: modelos da crosta terrestre e modelos de terrenos.

A modelação geológica correspondente à criação computadorizada de representações da crosta terrestre é baseada em observações feitas à superfície terrestre e/ou com auxílio de sondas perfuradoras ou sonares para obter informação das camadas mais profundas. Tais modelos geológicos são utilizados na gestão de recursos e eventos naturais com fortes aplicações na exploração mineira, indústrias do gás natural e do petróleo. Estes deverão permitir uma avaliação de reservas realista e ser actualizados de forma rápida e simples.

Quanto aos modelos de terreno, são representações tridimensionais de parte da superfície terrestre, permitindo uma percepção rápida e directa da paisagem e relevo geológico. Geralmente, estes modelos são criados por ilustradores, conferindo-lhes algum detalhe e tornando-os visualmente apelativos. Entre as áreas aplicacionais contam-se o ensino, o planeamento urbano ou regional e o estudo geológico.

Tal como no artigo de [Natali et al. 2013], onde é apresentada uma taxonomia orientada aos dados, a modelação geológica e de terrenos pode assentar em três tipos de cenários distintos (*data-free*, *sparse-data* e *dense-data*).

Os cenários *data-free* (considerados neste trabalho) não têm nenhuma informação de base e assim, a síntese geométrica é feita inteiramente com modelação procedimental e geométrica. Nos cenários *sparse-data* há alguma informação disponível, mas os dados não cobrem na totalidade o modelo, necessitando de ser interpolados. Os cenários *dense-data* são tipicamente baseados em grandes conjuntos de dados sísmicos volumétricos de atributos simples ou multi-atributos.

Na área da modelação de terrenos existem actualmente diversos tipos de aplicações capazes de desenvolver e analisar cenários desde muito complexos a muito simples, onde se contam por exemplo alguns sistemas de desenho assistidos por computador (CAD) [AutoDesk; GoCAD], mas também interfaces tangíveis que permitem ao modelador definir os terrenos esculpindo as formas desejadas.

Relativamente a *software* de modelação de terrenos, existem aplicações como o [World Machine], que combina a criação de terreno procedimental, simulação de natureza e edição interactiva para produzir terrenos com elevado detalhe (figura 2.1), ou o [Quick Terrain Modeler], capaz de importar um grande volume de dados e que permite aos utilizadores analisar, editar, explorar e partilhar os mesmos. Para além destes, também ambientes de desenvolvimento de jogos, como o [Unity3D], já possuem motores de modelação de terrenos que os utilizadores podem utilizar para incluir nas suas criações.

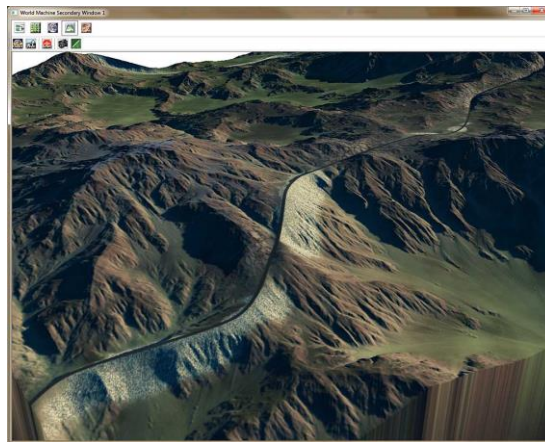


Figura 2.1 - Terreno gerado com a aplicação [World Machine].

Com relação às interfaces tangíveis destacam-se os trabalhos de [Piper et al. 2002] e [Leithinger and Ishii. 2010].

O primeiro descreve um sistema para a análise em tempo real de modelos paisagísticos. Os utilizadores podem alterar a topografia de um modelo de argila, que é capturado em tempo real por um *scanner* a laser, com o resultado da análise projectado de volta no modelo (figura 2.2). Assim, o sistema consiste num tecto montado sobre o modelo com um *scanner* e um projector, ambos alinhados na mesma origem óptica e calibrados para fazer o rastreamento e a projecção numa área igual. Com esta configuração é possível que as superfícies visíveis pelo *scanner* sejam também posteriormente projectadas. Durante a captura do modelo é usado um método de triangulação laser a fim de oferecer um rácio de captura e precisão maiores.



Figura 2.2 - Utilizador a editar topografia do terreno em *Illuminating Clay* [Piper et al. 2002].

O segundo é um tipo de ecrã de tampo de mesa com actuadores, que é capaz de representar e animar formas tridimensionais através de uma superfície maleável (figura 2.3). O ecrã não só é capaz de fazer a representação das formas mas também de captar *input* por parte do utilizador. A superfície maleável é accionada por um *array* de potenciadores electrónicos que ‘deslizam’ na vertical. A grande vantagem desta arquitectura é a combinação da rápida actuação com uma captura de *input* muito precisa. Este tipo de interface tem como desvantagem a resolução máxima do modelo devido à quantidade de pinos fixa que são utilizados.

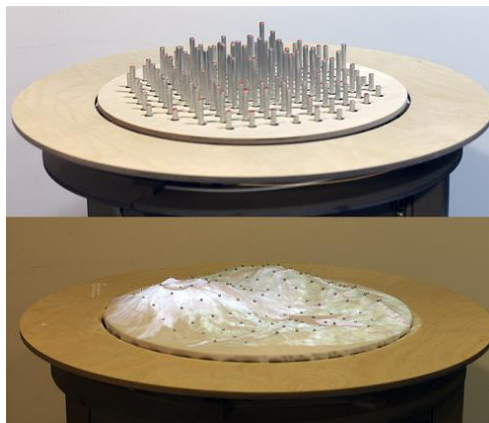


Figura 2.3 - Superfície maleável do sistema *Relief* [Leithinger and Ishii. 2010].

Apesar do sistema desenvolvido neste trabalho também estar apto para a modelação de terrenos, será focada apenas a modelação geológica dado que é aí que reside a contribuição do mesmo. 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 geológicas 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]. Apesar deste facto, poucos adoptam uma abordagem baseada em esboços [Natali et al. 2012; Natali et al. 2014A; Natali et al. 2014B; Lidal et al. 2013A; Amorim et al. 2012].

Neste âmbito da produção de cenários a partir de esboços, surge o *Terrain sketching* [Gain et al. 2009], uma interface de modelação através de esboços que permite uma geração de terrenos de forma procedimental. O terreno é gerado iterativamente de forma a satisfazer as restrições do esboço usando a deformação de superfícies. A interface suporta relevos utilizando curvas 2.5D, sendo que permite ao utilizador controlo sobre a silhueta, sombras e curvas de fronteira (figura 2.4).

O *Terrain sketching* permite, por exemplo, ao utilizador, antes de confirmar um traço, modificar o esboço “desenhando” por cima, utilizando assim a metáfora do lápis e do papel. É ainda possível ao utilizador ajustar a opacidade de um determinado elemento do terreno. A interface disponibiliza três modos diferentes para criação de classes diferentes de terrenos.

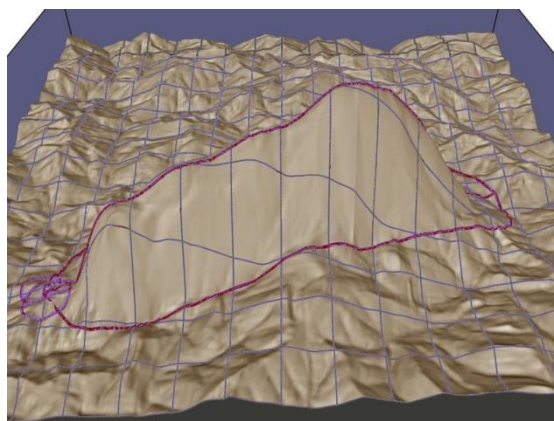


Figura 2.4 - Esboço da silhueta de uma montanha em *Terrain sketching* [Gain et al. 2009].

Também [Amorim et al. 2012], no seu trabalho, reporta um sistema de modelação baseado em esboços. Aqui, o foco é uma interface para a avaliação em estados iniciais na prospecção de gás e petróleo permitindo, a partir de um cenário de dados, com esboços criar e editar características geológicas (figura 2.5).

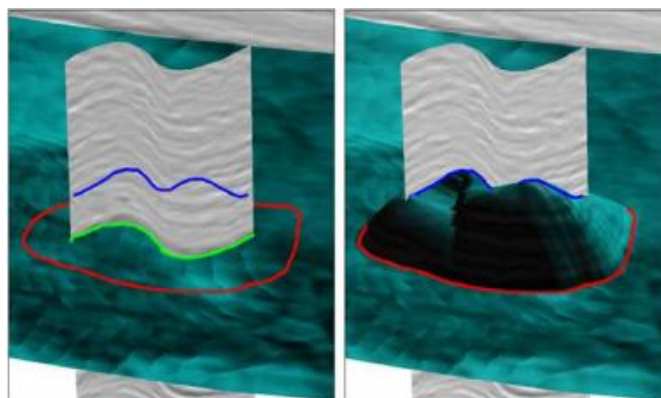


Figura 2.5 - Esboços usados para criação de relevo [Amorim et al. 2012].

No entanto, 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. A ideia de utilizar uma interface de esboço (*proxy*) em forma de paralelepípedo, referida anteriormente, como forma de desenvolver modelos geológicos foi também explorada por [Lidal et al. 2013A], nos métodos apresentados no seu artigo. Neste trabalho são apresentados e comparados dois métodos que permitem modelação geológica tridimensional rápida num sistema desenhado para o efeito, explorando os factores de complexidade do modelo versus o nível de dificuldade na sua criação. Assim, um dos métodos contém um conjunto de operações de modelação *ad-hoc* para captura de objectos geológicos típicos, ou seja, define várias ferramentas especializadas, cada uma na execução de uma tarefa específica (ex. uma para criar rios, outra para criar vales, etc.). O outro método utiliza tecnologias mais genéricas, proporcionando apenas uma ferramenta para todo o processo. Em ambos é utilizado precisamente um conjunto de geometrias *proxy* nas quais são esboçadas linhas 2D para definição das fronteiras de cada uma das superfícies (figura 2.6).

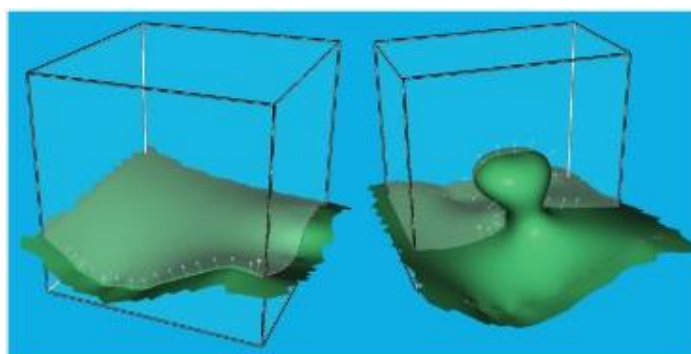


Figura 2.6 - Superfícies geradas a partir de curvas de pontos esboçadas nas faces da *proxy* [Lidal et al. 2013A].

No seguimento do trabalho de [Lidal 2013], e com o objectivo de permitir a rápida criação de estruturas geológicas [Bendiksen 2013] propõe um sistema baseado em esboços, utilizando para tal um cubo, a fim de criar modelos estratigráficos. O estado inicial da aplicação é um cubo vazio, cujas faces vão ser utilizadas para esboçar o contorno da superfície nesse limite. A superfície é então

criada a partir da interpolação dos contornos da mesma nas várias faces. O utilizador pode então conferir mais algum detalhe à superfície adicionando vales, rios e outras entidades geológicas esboçando para tal sobre a mesma (figura 2.7).

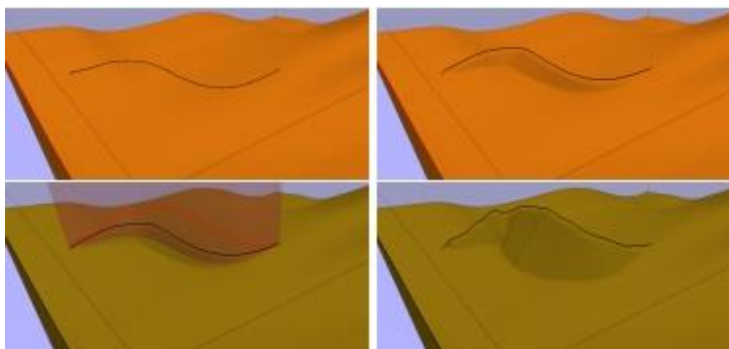


Figura 2.7 - Esboço directo na superfície para adição de detalhes [Bendiksen 2013].

De modo a reduzir a separação entre as tarefas de interpretação e modelação [Amorim et al. 2014] propõe também uma abordagem baseada em esboços para a criação de modelos directamente da fase de interpretação. A modelação proposta é baseada nas anotações *standard* de mapas geológicos 2D por parte das interpretações de geólogos. Deste modo, o sistema interpreta os esboços 2D e anotações e gera o respectivo modelo estratigráfico tridimensional. O sistema decide ainda, de forma automática, as idades das camadas do modelo com base nas anotações feitas, definindo assim a sua sequência.

Seguindo outra abordagem, *Arches* [Peytavie et al. 2009] apresenta uma *framework* capaz de representar terrenos complexos como arcos ou cavernas baseado na utilização de *voxels*. Para tal, são utilizados modelos de terrenos híbridos, que combinam uma estrutura de dados volumétrica discreta com uma representação implícita. Para edição do terreno são utilizadas ferramentas de modelação de terrenos de alto nível e de escultura. É ainda apresentado uma ferramenta de erosão que permite, de forma eficiente, gerar pilhas de pedras e/ou areia (figura 2.8).



Figura 2.8 - Representação de erosão criada a partir de uma superfície implícita [Peytavie et al. 2009].

Voxels representam valores numa grelha num espaço tridimensional, e podem ser vistos como análogos ao *texel*, que representa dados de imagem 2D num mapa de bits. O *voxel* é usado com frequência na visualização e análise de dados médicos e científicos.

Um problema recorrente em sistemas de modelação geológica prende-se com a oclusão de determinados detalhes. Neste sentido [Coffin and Höllerer 2006] desenvolveram um método que proporciona aos utilizadores uma visualização de raio-X virtual em cenas 3D, permitindo de forma simples observar através de objectos escondidos por oclusão, dando ao utilizador uma melhor percepção de toda a cena 3D. Para tal, é apenas necessário especificar a forma do corte (representado internamente como uma geometria de corte 3D), sendo então utilizado o *stencil buffer* para remover toda a geometria que intercepta a de corte. No entanto, o método falha no caso de o objecto não ser completamente penetrado pela geometria de corte. Num caso semelhante, pode acontecer a geometria de corte interceptar parte do objecto que queremos conseguir visualizar.

Este tema é ainda abordado por [Elmqvist and Tsigas 2008]. No seu trabalho, que utilizando como base outros anteriores [Elmqvist and Tudoreanu 2007], a fim de explorar o problema da oclusão espacial (3D), é definida uma taxonomia de desenho espacial com técnicas de gestão de oclusão, explorando também as propriedades características das mesmas. Os autores apresentam cinco padrões de desenho baseados na classificação de técnicas de interacção existentes. Os padrões incluem múltiplos *viewports*, *x-ray* virtual, amostras volumétricas, entre outros.

De forma geral, o grande objectivo dos métodos e princípios abordados por estes artigos é dar aos especialistas no domínio geocientífico uma ferramenta que permita explorar e comunicar os aspectos mais importantes dos seus modelos através da criação de visualizações interactivas dos mesmos. Apesar de nestes terem sido considerados diferentes abordagens para criar esboços 3D, é de referir que nenhum deles explora as vantagens e potencialidades do uso de um sistema de interacção espacial, que faça uso de interfaces multimodais interactivas, onde gestos possam ser usados para a modelação explícita de superfícies e objectos geológicos, sendo este o principal objectivo da tese.

2.2 Interacção Espacial

Sistemas com os quais é possível interagir espacialmente através de gestos e movimentos, cujo principal objectivo é permitir uma interacção com sistemas computacionais sem contacto físico com o mesmo, são uma tecnologia que tem ganho um grande protagonismo recentemente, principalmente com a área dos videojogos. Estas interfaces permitem ao utilizador uma interacção mais intuitiva.

No entanto, um reconhecimento bem-sucedido dos gestos é um desafio, pois não só a possibilidade do uso de movimentos naturais é limitado pela tecnologia actual como surgem ambiguidades em atribuir um único evento a um determinado tipo de gestos. Um dos problemas continua a ser a segmentação dos gestos, sendo que não é trivial definir onde um gesto é iniciado ou termina. Para além disso não há um consenso absoluto no que toca à definição de gesto, destacando-se dois polos principais.

Num artigo de 1991, [Rubine 1991] define gestos como sendo marcas feitas com a mão utilizando um rato que indicam um comando ou contexto. Esta definição demarca-se um pouco daquilo que geralmente é entendido como um gesto, pois necessita de um objecto de interacção (neste caso o rato) para ser efectuado.

No outro extremo, e mais natural, [Rico and Brewster 2010] descrevem gestos como sendo movimentos deliberados do corpo usados como intenção de comunicar uma ideia, sendo que este pode ser usado durante uma conversa entre duas pessoas ou como comunicação entre um humano e uma máquina.

Assim, o reconhecimento de gestos e movimentos tem como objectivo permitir a humanos comunicar com máquinas sem recorrer a dispositivos mecânicos, sendo a interpretação destes feita através de algoritmos matemáticos. Para tal, a captura destes pode ser feita recorrendo a variados tipos de dispositivos, desde câmaras e sensores de movimentos, como é o caso do [Kinect] da Microsoft, a marcadores ópticos ou activos acoplados ao utilizador para a captura dos movimentos.

No caso do uso de camaras o seu reconhecimento pode ser feito através de um conjunto de técnicas de processamento de imagem. Como referido, e ao contrário das interfaces hápticas, este tipo de captura não requer que o utilizador vista equipamentos especiais (ex. [Data Glove]) ou que recorra a dispositivos que estejam acoplados ao seu corpo, como sensores ou marcadores, permitindo uma interacção contínua e sem fios. É de referir que esta tecnologia pode ainda ser utilizada para reconhecimento facial.

Pode se considerar que o primeiro grande sistema de interacção espacial foi desenvolvido por [Bolt 1980]. No seu sistema, o utilizador podia criar e mover objectos 2D (como cubos, círculos, ou triângulos) à distância, apontando para o local desejado num ecrã de grandes dimensões. Para tal, o utilizador usava uma pulseira especial no braço que dava as direcções na interacção e a tecnologia era baseada em medições feitas num campo magnético gerado entre a pulseira e um transmissor.

Como representante de interfaces invasivas para a captura dos gestos temos a [Data Glove], esta é um dispositivo de interacção semelhante a uma luva que facilita o controlo na robótica e em aplicações de realidade virtual. A luva procede á captura dos movimentos fazendo uso de um conjunto de sensores.

Já em 1996 no trabalho [Ebert et al. 1996], com um sistema mais antigo, se pode observar um meio de interacção para a visualização estereoscópica de dados volumétricos, baseado na utilização de dois pequenos manípulos (um para cada mão). O par de *trackers* magnéticos permitia ao utilizador abstrair-se da utilização das interfaces 2D comuns, dando-lhe uma maior sensação de imersão (figura 2.9). Deste modo, com o *tracker* da mão esquerda o utilizador podia manipular a posição e orientação da cena e seleccionar o contexto de desenho, enquanto com o da mão direita poderia seleccionar os volumes.



Figura 2.9 - Setup do sistema apresentado por [Ebert et al. 1996].

Mais recentemente, [Schkolne et al.2001] propõe um sistema para criação de formas orgânicas tridimensionais recorrendo a ferramentas tangíveis e à mão. A interface permite aos utilizadores utilizarem a mão, recorrendo a uma luva de dados, para marcar o espaço 3D e assim desenhar formas. São então disponibilizados um conjunto de ferramentas tangíveis que dão ao utilizador a possibilidade de editar e manipular os modelos criados anteriormente. Estas ferramentas têm a particularidade de cada uma permitir atingir um efeito diferente sobre o modelo.

Outro representante deste conjunto de interfaces é o [OptiTrack]. Este utiliza um conjunto de camaras de infravermelhos para captar as posições de marcadores reflectores presentes no espaço por elas coberto. Esta tecnologia é invasiva na medida em que o utilizador tem de colocar os marcadores no seu corpo ou num objecto a ser utilizado por ele por forma a capturar os seus movimentos (figura 2.10).

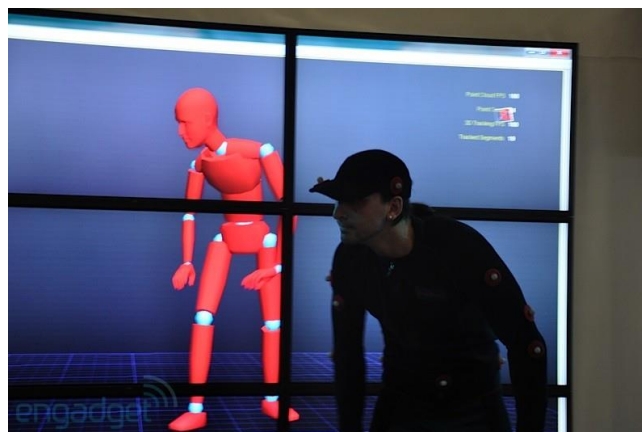


Figura 2.10 - Utilizador provido de marcadores ópticos [OptiTrack].

Este sistema é utilizado por exemplo no trabalho de [Tang et al. 2011], onde foi implementado um jogo de dança interactivo usando para tal a tecnologia de captura óptica de movimentos 3D. Aqui, os dançarinos vestem um fato coberto com marcadores ópticos e os seus movimentos são captados pelas camaras de infravermelhos. Em seguida, os movimentos são comparados a um conjunto de

movimentos *template* existentes no sistema. Em caso de reconhecimento, um parceiro de dança virtual responde aos movimentos do utilizador, dançando com ele.

Com o aparecimento das últimas gerações das consolas de videojogos houve também algum progresso na criação de dispositivos capazes de captar os movimentos do jogador, tornando acessíveis a qualquer pessoa dispositivos que até então estavam disponíveis apenas a um conjunto restrito.

Um desses dispositivos é o [Wii Remote] da Nintendo, o primeiro a surgir. O [Wii Remote] possui um sensor de infravermelhos e um conjunto de acelerómetros, que permite obter a aceleração do controlador nos três eixos (vertical, lateral e profundidade). O sensor encontra as fontes de infravermelho e emite as coordenadas dos pontos para a consola. Com isto, é possível calcular a orientação do controlador relativamente ao chão e a direcção para a qual está a ser apontado para o ecrã.

O [Kinect] é um dispositivo de *input* de sensores de movimento produzido pela Microsoft também no âmbito da sua consola de jogos. Permite ao utilizador interagir com o seu computador ou consola sem necessitar de um comando/controlador permitindo a interacção por gestos e voz (figura 2.11). O [Kinect] possui para além de uma camera RGB sensores de profundidade, conseguindo, por exemplo, estimar com precisão a posição de um corpo recorrendo a um mapa de profundidade e ao reconhecimento de padrões.

Ambas as tecnologias, devido ao seu valor, são largamente utilizados em várias áreas da investigação, onde este tipo de interacção gestual é desejável, como na manipulação de dados volumétricos ou na comunicação gestual.



Figura 2.11 - Utilizador a interagir com o sistema através do [Kinect].

A partir de duas camaras [Kinect] [Wang et al.2011] introduziu um novo método para obtenção da posição espacial e orientação das mãos. Este método não necessita de qualquer dispositivo invasivo ao utilizador e baseia-se na observação das imagens de profundidade captadas pelas camaras para recortar todo o resto da imagem para além das mãos. Este resultado é então comparado com uma base de dados existente com representações de mãos em várias posições sendo, por fim, as mãos substituídas pelo modelo tridimensional correspondente encontrado (figura 2.12).



Figura 2.12 - Captação dos gestos de um utilizador recorrendo ao sistema desenvolvido por [Wang et al.2011].

Utilizando também o [Kinect] como único meio de *input* no sistema de reconhecimento de gestos, [Luigi Gallo et al. 2011] apresenta um sistema *open-source*, mais uma vez livre de controladores, para exploração de imagens médicas. Nesta interface, os utilizadores são representados como um esqueleto de linhas ligadas por juntas. A estimativa do movimento do corpo é dado através da forma como a juntas do esqueleto se movem. Todos os comandos de interacção são mapeados em gestos, podendo ser executados sem tocar no ecrã. Os gestos reconhecidos possuem tanto elementos estáticos como dinâmicos. Neste caso, os gestos estatísticos indicam possíveis acções enquanto os dinâmicos discriminam as diferentes acções. Este sistema de interacção tem como base uma máquina de estados.

Nota-se o facto de o uso de camaras de profundidade ter como problema, estas, possuírem um raio de acção/captura limitado, obrigando o utilizador a permanecer dentro do seu alcance.

É ainda de referir o [Leap Motion] que é um periférico *usb* para ligar a um computador pessoal. Através de duas camaras e três leds infravermelhos, o dispositivo consegue observar uma área até cerca de um metro acima do mesmo (figura 2.13). As camaras captam a luz reflectida proveniente dos leds atingindo uma taxa de quase 300 *frames* por segundo. Os dados são então transmitidos por *usb* ao computador que, com auxílio de um controlador sintetiza a posição 3D comparando os *frames* 2D vindas das duas câmaras.



Figura 2.13 - Utilização do [Leap Motion] para captura de gestos.

2.3 Visualização

O modo como dados geométricos e topológicos são representados e visualizados por um utilizador tem grande importância na forma como estes são interpretados. Por exemplo, quanto mais complexo é um desenho ou modelo 2D, mais difícil é a sua percepção tridimensional. Aqui, a transformação para um espaço 3D revela uma grande ajuda, diminuindo fortemente a margem de erros de interpretação (figura 2.14).

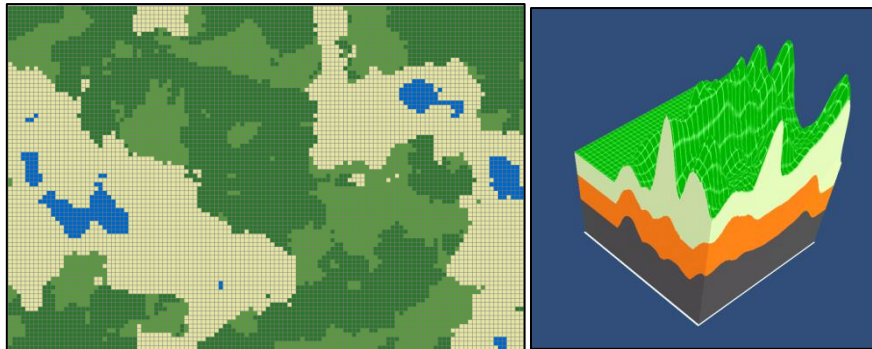


Figura 2.14 - Comparação de uma ilustração 2D com um modelo 3D.

Com o avanço da tecnologia, e de modo a melhorar a dita percepção tridimensional, tem havido uma crescente utilização de ambientes estereoscópicos e investimento no desenvolvimento de ambientes mais imersivos, sendo a imersividade a percepção de se estar fisicamente presente num ambiente virtual, recorrendo à visão, audição ou outros sentidos do utilizador.

Com a chegada dos televisores 3D este tipo de tecnologias passou a ser acessível a qualquer pessoa. Estes dão ao utilizador uma percepção de profundidade ao que estão a ver recorrendo, em grande parte dos casos, a óculos apropriados para o efeito. Os óculos podem usar tecnologia activa ou passiva.

No caso dos óculos activos, as lentes, direita e esquerda, vão fechando e abrindo alternadamente, deixando o utilizador apenas ver a imagem em cada olho que lhe é dirigida. Isto ocorre em sincronização com a taxa de actualização do ecrã a que estão associados. A sincronização pode ser obtida com o uso de sinais infravermelhos, Bluetooth, ou mesmo por cabo. Esta tecnologia é também utilizada pelo sistema de [Nvidia 3D Vision], que é um *kit* de estereoscopia para videojogos (figura 2.15).

Por sua vez, os óculos passivos são polarizados, isto é, cada lente polarizada filtra apenas ondas de luz que são alinhadas na mesma direcção. Este facto leva a que cada olho percepcione uma imagem diferente.



Figura 2.15 - Kit [Nvidia 3D Vision].

Partindo do problema da visualização tridimensional em ecrãs de grandes dimensões, [Hancock and Carpendale 2007] propõe um modelo simplificado que compensa a visualização fora de eixo para um só utilizador, estendendo então a técnica para múltiplos utilizadores a interagir com o mesmo ecrã. Para além de descrever alternativas fixas e personalizáveis são ainda discutidas as implicações de cada abordagem. Neste trabalho são apresentadas opções discretas e contínuas para correcções fixas, permitindo interacção nas perspectivas correctas.

Já em 1997, no trabalho de [Agrawala et al. 1997], é apresentado um sistema de projecção de realidade virtual que permite que dois utilizadores vejam simultaneamente imagens estereoscópicas individuais para os próprios pontos de visualização, tornando-o numa extensão aos mais comuns sistemas de realidade virtual preparados para um só utilizador (figura 2.16).

De modo a dois utilizadores poderem ver uma imagem estereoscópica individual, são representadas e mostradas quatro imagens (dois pares esquerda/direita). Para tal os óculos de visualização tiveram de ser modificados a fim de apenas mostrar as duas das quatro imagens a cada utilizador.

O maior problema da solução implementada prende-se com o *frame-rate* que, ao mostrar o dobro das imagens, é reduzido para metade para cada utilizador.



Figura 2.16 - Sistema de visualização personalizada 3D para dois utilizadores [Agrawala et al. 1997].

[Hancock et al. 2009] apresenta um estudo que tem o fim de investigar a capacidade dos utilizadores em perceber orientações de objectos em diferentes condições de projecção. Para tal, foi pedido a utilizadores que estimassem a orientação de objectos tridimensionais projectados num ecrã de tampo de mesa com diferentes geometrias de projecção. Como principal resultado observou-se que o erro foi maior quanto maior a discrepância entre o *CoP* (*centro de projecção*) e o *PoV* (*ponto de vista*).

Do lado dos sistemas que proporcionam ambientes imersivos está o CAVE (*computer assisted virtual environment*) [Cruz-Neira et al. 1993]. Este é composto por uma sala em forma de cubo em que as suas paredes (pelo menos três), chão e tecto servem de telas gigantes onde é projectado ambiente virtual. O utilizador usa um par de óculos 3D por forma a perceber objectos directamente á sua volta. Os movimentos do utilizador são captados por sensores, normalmente acoplados aos óculos, de modo a ser gerada uma imagem dependente da sua perspectiva.

Neste âmbito, [Bayyari and Tudoreanu 2006] avaliam a utilização de métodos de visualização de realidade virtual, concentrando-se nos benefícios da combinação da realidade virtual imersiva e a visualização de dados. Assim, foram feitas experiências, usando quatro configurações diferentes, nas quais participantes foram testados num monitor comum utilizando um dispositivo de interacção *hand-tracked* e um número variado de ecrãs CAVE. Concluiu-se que os ecrãs imersivos permitem uma melhor compreensão na visualização dos dados.

No entanto, no topo da lista de tecnologias de realidade virtual está o [Oculus Rift], que é um equipamento desenhado principalmente para o uso em videojogos. O [Oculus Rift] é um sistema visual do tipo *Head-Mounted Display*, onde um par de óculos está equipado com dois ecrãs nos lugares das lentes, simulando os olhos do utilizador num ambiente virtual. O dispositivo tem um sensor de movimentos embutido, permitindo que as imagens em 3D se movam consoante os movimentos da cabeça do utilizador.

Por fim, como representante da realidade aumentada, surge o trabalho de [Hilliges et al. 2012]. Este introduz um sistema interactivo que combina uma camara [Kinect] e um ecrã translucido para que os utilizadores consigam misturar a realidade com o ambiente virtual, possibilitando lhes a interacção com objectos gráficos tridimensionais (figura 2.17). A cena 3D é representada através de um espelho translucido, que reflecte a imagem virtual gerada num ecrã posicionado acima do mesmo, e alinhada espacialmente com o mundo real a baixo.



Figura 2.17 - Sistema de realidade aumentada *HoloDesk* [Hilliges et al. 2012].

2.4 Gestos em Superfície Multitoque

Nos dias de hoje, as superfícies e ecrãs multitoque como interface são uma realidade para a maioria das pessoas. Estes encontram-se presentes, por exemplo, no dia-a-dia daqueles que possuem um *smartphone* ou *tablet*, sendo que o uso deste tipo de dispositivo se encontra em larga expansão.

A grande vantagem de um ecrã sensível ao toque é permitir uma interacção directa do utilizador com o que está a ser mostrado no ecrã, estando a selecção de um objecto á distância de um toque. É fácil de perceber que a extensão desta tecnologia para a utilização de múltiplos toques só pode melhorar a experiencia dos utilizadores ao dar-lhes um conjunto de novas possibilidades.

Neste âmbito, no artigo de [Hansen and Hourcade 2010] pode ser vista uma comparação entre a utilização deste tipo de superfícies e a convencional utilização do rato em tarefas visuais que requerem coordenação e colaboração. No estudo feito, pode ser observado que a grande maioria dos utilizadores deu preferência à utilização da superfície multitoque em detrimento da outra.

Nos primórdios das superfícies multitoque está o trabalho desenvolvido por [Wellner 1991]. Este surge da tentativa de dar a uma secretária propriedades electrónicas, trazendo benefícios na análise e leitura de documentos em papel. O sistema faz uso de um projector e de uma camera acima de uma secretaria, a fim de conseguir identificar para onde o utilizador aponta e ler porções dos documentos, projectando então algum *feedback* na mesa (figura 2.18). Deste modo, o utilizador pode interagir com o papel e com os objectos projectados tocando-lhes com o dedo.

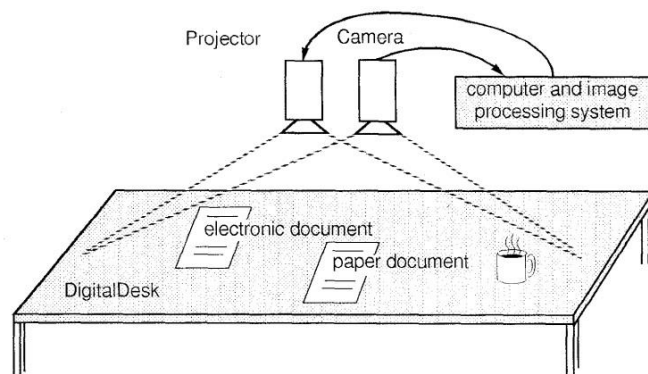


Figura 2.18 - Superfície multitoque desenvolvida por [Wellner 1991].

Já no trabalho de [Lindermann 2010] é dada uma visão geral sobre os dispositivos multitoque, e tecnologias relacionadas, como os ecrãs resistivos, capacitivos e outros métodos ópticos. São ainda discutidas vantagens e desvantagens na utilização dos mesmos. Como principais vantagens destes dispositivos é destacado o facto de, devido à possibilidade de gerir o conteúdo do ecrã de acordo com as necessidades, uma interface multitoque poder ser adaptada a praticamente qualquer tipo de problema que deva solucionar, bem como dar a possibilidade de servir de interacção a múltiplos

utilizadores ao mesmo tempo. O principal problema apontado prende-se com o problema da oclusão provocado pelos dedos e mãos do utilizador no conteúdo do ecrã.

Por forma a classificar estas superfícies, [Grossman and Wigdor 2007] definem uma taxonomia de classificação de tampos de mesa 3D interactivos através de uma revisão feita a trabalhos existentes. No artigo são discutidas as principais áreas da taxonomia exploradas, tal como um conjunto questões relacionadas com a interacção e algumas directrizes de desenho aplicadas na *framework*. A taxonomia está dividida em três áreas principais: propriedades de visualização, propriedades do *input* e propriedades físicas.

Relativamente aos ecrãs sensíveis ao toque, estes, podem ser implementado de diferentes formas. Alguns dos sistemas utilizados são os ecrãs resistivos, capacitivos, DI, FTIR e LLP que serão descritos em seguida.

Ecrãs resistivos são compostos por duas camadas flexíveis, com um material resistivo e linhas horizontais e verticais, separadas por uma fina camada de ar. Quando a superfície é tocada, as duas camadas são pressionadas uma contra a outra, registando o local exacto do toque.

Os ecrãs capacitivos consistem de um material isolador, como vidro, coberto por um condutor transparente. Como o corpo humano é um condutor eléctrico, este provoca uma distorção do campo electroestático do ecrã quando há um toque, que é medido como uma alteração na capacitância.

Ecrãs com DI (*diffuse illumination*) funcionam utilizando projectores de infravermelhos, uma camara e um difusor colocado sob o ecrã. Quando um objecto toca na superfície é reflectida mais luz do que apenas com o difusor. Esta alteração é então captada pela camara. Num sistema semelhante, o sistema FTIR (*Frustrated Total Internal Reflection*) utiliza leds de luz infravermelha, no interior do ecrã, dirigidos para a superfície que a reflecte de volta na sua totalidade. Quando um objecto lhe toca, os raios de luz deixam de ser todos reflectidos, o que pode ser captado por uma camara colocado por detrás dela.

Na tecnologia LLP (*Laser Light Plane*) é projectada luz infravermelha a partir de um conjunto de lasers colocados acima da superfície de toque. Quando ocorre um toque no ecrã, os raios infravermelhos são dispersados e captados por uma camara colocada atrás deste (figura 2.19). O LLP é mais barato e mais preciso do que as tecnologias de FTIR e DI.

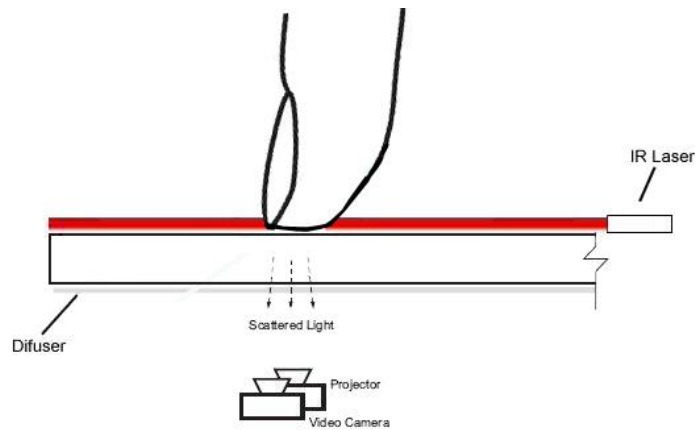


Figura 2.19 - Tecnologia multitoque LLP.

Vários foram os trabalhos que fizeram uso destas tecnologias, como exemplo, [Kim et al. 2006] descreve um sistema de ecrã multitoque numa mesa e do seu algoritmo de controlo para o *Google-earth™* que adopta a técnica FTIR para interacção gestual baseada em toques. Os gestos são definidos de acordo com a posição, o movimento e o número de dedos que são obtidos na interacção. Assim, os comandos gestuais são reconhecidos comparando a imagem pré-processada com modelos gestuais predefinidos, como o número de pontos de contacto, o ângulo ou a distância euclidiana entre dois pontos.

O algoritmo TRS (*Translation Rotation Scale*) [Hancock et al. 2006] é, a nível de transformações de objectos, o mais utilizado pelos dispositivos multitoque que usamos no nosso dia-a-dia. Com este consegue-se manipular um objecto do seguinte modo: (i) utilizando apenas um dedo sobre o objecto é possível movê-lo arrastando o dedo na posição desejada; (ii) utilizando dois dedos o objecto é rodado, de acordo com o ângulo formado pela direcção de movimento deles, e escalado, de acordo com as diferenças das distâncias entre eles (figura 2.20).

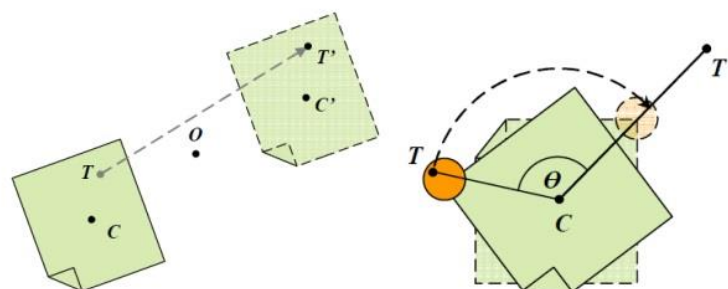


Figura 2.20 - Técnica de interacção TRS [Hancock et al. 2006].

Os tampos de mesa 3D interactivos e as transformações sobre objectos são também abordados no artigo de [Hancock et al. 2007]. Aqui algumas técnicas de interacção são introduzidas que proporcionam controlo sobre todos os tipos de rotação unidos a translação (6-DOF) de objectos virtuais num ecrã de superfície de tampo de mesa de toque. É ainda apresentado um estudo que examina a eficiência das técnicas desenvolvidas.

Também são apresentadas cinco técnicas diferentes de rotação e translação para objectos mostrados num ecrã multitoque. É analisada a sua adequabilidade para esse tipo de interface em relação aos seus graus de liberdade de *input* e *output*, tal como a sua precisão e completude.

Como seguimento destes últimos, [Hancock et al. 2009] dá a conhecer um paradigma de interacção que traz os benefícios de uma interacção baseada em forças com manipulação completa em 6DOF. Aqui, é apresentado *Sticky Tools*, que une os métodos de *Sticky Fingers*, movimentação e rotação de objectos virtuais, e *Opposable Thumbs*, para virar objectos, a *Virtual Tools*, para propagar determinado comportamento a outros objectos em cena.

Assim, um dedo é utilizado para mover o objecto no plano bidimensional. A utilização de dois dedos permite não só mover o objecto na terceira dimensão (levantá-lo) aumentando a distância entre estes, como rodá-lo bidimensionalmente. A fim de proceder á rotação em 3D é necessário utilizar dois dedos posicionados de modo a definir o eixo de rotação e um terceiro para rodar o objecto em torno do eixo definido.

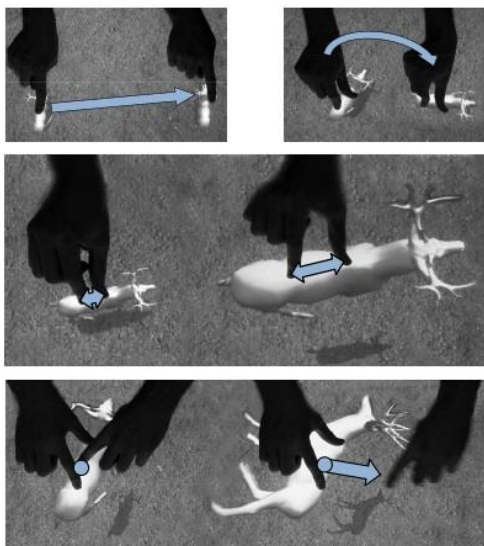


Figura 2.21 - Técnica de interacção *Sticky Tools* [Hancock et al. 2009]

Partindo do algoritmo TRS, [Reisman et al. 2009] apresenta um novo método para manipulação de objectos tridimensionais via ecrã multitoque. Para além das interacções 2D tradicionais, o método permite a utilização de três ou mais dedos para uma interacção tridimensional com a superfície multitoque. A técnica utiliza uma função de resolução de restrições de modo a calcular a posição e orientação do objecto e a manter constantes as posições dos dedos na superfície e na cena virtual. Como limitação desta solução destaca-se possibilidade de manipulação de várias das técnicas utilizadas ao mesmo tempo, o que leva o utilizador, por vezes, a acções indesejadas.

Partindo do problema da ambiguidade na utilização destes gestos para manipulação de objectos, [Nacenta et al. 2009] realizou um estudo com utilizadores onde foram comparados quatro métodos

distintos para a interacção multitoque, onde estes podiam escolher formas de manipulação para minimizar acções indesejadas.

Uma forma de desambiguar transformações durante a interacção multitoque é recorrendo a *widgets*. *Widgets* de transformações 3D são interfaces que permitem controlo sobre a rotação, translação ou escala de objectos de forma independente. Este tipo de interfaces foi explorado por [Cohé et al. 2011]. No seu trabalho, Cohé estudou como é que os *widgets* podem ser adaptados a interfaces multitoque. Como resultado, foi desenhado um novo *widget*, *tbox*, que pode ser manipulado de forma fácil e eficiente através do toque para transformações tridimensionais em 9DOF. O *widget* é composto por um cubo, do qual apenas são representadas as arestas. Manipulando as faces e as arestas com um dedo é então possível a um utilizador rodar e mover o objecto, respectivamente. Como forma de escalonamento, o utilizador selecciona duas arestas paralelas do cubo e movê-las em direcção uma à outra ou afastando-as.

No trabalho de [Toney and Thomas 2006] é ainda abordado o tema do alcance nas interfaces tangíveis. É de referir que, tomando em consideração este aspecto, é possível melhorar a usabilidade de interfaces do tipo tampo de mesa, pois é importante tornar todos os objectos interactivos facilmente acessíveis ao utilizador.

2.5 Discussão

Após a exposição de alguns trabalhos relevantes na área da modelação geológica, reconhecimento de gestos, manipulação e visualização tridimensional de objectos, é apresentada uma breve discussão sobre os mesmos. As seguintes tabelas têm como objectivo servir de comparação entre os trabalhos expostos, dando uma visão global dos mesmos.

Podemos verificar que já existem alguns trabalhos recentes a tirar partido da utilização de esboços na produção de modelos geológicos para a criação rápida de modelos, na medida em que este tipo de interface permite uma interacção mais natural com os sistemas. O sistema proposto por [Gain et al. 2009] apresenta, no entanto, um tipo de limitação presente em boa parte das interfaces de modelação. Apesar de completo, a sua complexidade impede que utilizadores com menos experiencia possam usufruir da aplicação de forma satisfatória. Neste sentido os trabalhos desenvolvidos por [Amorim et al. 2014; Lidal 2013; Bendiksen 2013] privilegiam a simplicidade e rapidez na criação de modelo. Podemos verificar na tabela 2.1 representada a baixo que estes dois aspectos estão fortemente relacionados em grande parte dos trabalhos.

Mesmo interfaces tangíveis, como o *Relief* [Leithinger and Ishii. 2010] ou o *Illuminating Clay* [Piper et al. 2002] podem trazer os seus benefícios, dando a possibilidade dos utilizadores usarem as próprias mãos para a modelação como se de uma escultura se tratasse. No entanto, o facto de se tratar de objectos físicos traz algumas desvantagens, nomeadamente o tamanho máximo fixo dos modelos e as propriedades do material utilizado para a construção dos mesmos constituem uma limitação,

impedindo serem moldados de forma completamente livre. É também, necessária a adição e manipulação de *hardware* de cada vez que se quer fazer uma adição de funcionalidade, tornando rapidamente incomportável a extensibilidade do sistema e, assim, específica para determinado tipo de tarefas.

A utilização de *voxels* em *Arches* [Peytavie et al. 2009], apesar de permitir a simulação realista de características geológicas ao nível dos terrenos, por ser algo pesada, não é muito eficiente quando em utilização para modelação geológica dos subsolos em modelos extensos.

É ainda de referir que, embora a abordagem para modelação 3D de esboços usando o espaço livre (e.g., espaço em cima de uma mesa) não seja novidade [Galyean & 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.

	Data-free	Baseado em Esboços	Interface Tangível	Modelação Rápida	Framework de Análise de Dados	Modelador de Terreno	Modelador de Subsolos
[<i>World Machine</i>]	X					X	
[<i>Quick terrain Modeler</i>]					X	X	
[<i>Illuminating Clay</i> Piper et al. 2002]	X		X		X	X	
[<i>Relief</i> Leithinger and Ishii. 2010]	X		X	X		X	
[<i>Terrain Sketching</i> Gain et al. 2009]	X	X					X
[Amorim et al 2012]		X		X			X
[<i>Rapid Modeling of Geology</i> Bendiksen 2013]	X	X		X			X
[Amorim et al 2014]		X		X			X
[<i>Arches</i> Peytavie et al. 2009]	X					X	

Tabela 2.1 - Tabela comparativa para sistemas de modelação geológica.

Idealmente, a captura e reconhecimento dos gestos seria imediata, com um tempo de resposta mínimo, no entanto isto não se verifica. Principalmente em sistemas de captura de gestos com camaras, como os que utilizam o [*Kinect*], a velocidade de amostragem não é tão alta quanto desejado para aplicações em tempo real. O mesmo se pode dizer da precisão, que com o uso de camaras de profundidade, também não é tão boa como seria desejável, não só no que se refere ao correcto reconhecimento dos gestos, como também na posição espacial dos mesmos. Este último é fortemente atenuado com o uso de interfaces invasivas e tangíveis como a [*Data Glove*] ou o [*OptiTrack*]. Em contrapartida, neste tipo de sistemas destaca-se o facto de interfaces invasivas necessitarem da utilização de sensores acoplados ao corpo do utilizador, como os marcadores utilizados no caso do *Interactive Dancing Game* [Tang et al. 2011]. A utilização destes dispositivos pode provocar que os utilizadores não possuam tanta liberdade de movimentos e conforto como seria desejável, tornando a interacção menos natural.

Apesar disto, os sistemas de *Motion Capture* (captura de movimentos), como o [OptiTrack], têm sido cada vez mais utilizados na captura digital de objectos e pessoas em movimento, desde áreas de animação 3D, efeitos visuais, industria cinematográfica a videojogos.

Na tabela seguinte (tabela 2.2), podemos verificar, qual o tipo de tecnologias utilizadas por cada um dos trabalhos referidos:

	Câmaras de Profundidade	Motion Capture (Marcadores)	Tangíveis
[Ebert et al. 1996]			X
<i>Surface Drawing</i> [Schkolne et al. 2001]			X
<i>6D Hands</i> [Wang et al. 2011]	X		
<i>Interactive Dancing Game</i> [Tang et al. 2011]		X	
[Gallo et al. 2011]	X		
[OptiTrack]		X	
[Wii Remote]			X
[Kinect]	X		
[Leap Motion]	X		

Tabela 2.2 - Tabela comparativa para sistemas de captura de gestos

A forma como a informação é mostrada ao utilizador é também importante, pois dela depende a coerência e a imersão com que o utilizador experiencia a interacção com a interface. A tabela 2.3 apresenta e compara as tecnologias associadas às diferentes plataformas de visualização.

Os [Oculus Rift] e sistemas CAVE apresentam a melhor imersividade aos seus utilizadores, colocando-os quase por completo no mundo virtual, sendo a visualização dos dados completamente personalizada aos mesmos. Infelizmente, o sistema Cave tem como grande desvantagem o seu elevado custo e os [Oculus Rift] podem tornar-se desconfortáveis ao fim de algum tempo de uso, não só devido ao seu peso. Um problema recorrente é a denominada ciberdoença (*cyber sickness*) que pode provocar enjoos e/ou tonturas aos utilizadores ao cabo de algum tempo de uso. O *HoloDesk* tem como lacuna o espaço muito limitado onde o utilizador pode interagir com o sistema devido à sua arquitectura, o que num sistema com o objectivo de modelação geológico não é adequado. No entanto, é de referir que um sistema de realidade aumentada poder de facto trazer os seus benefícios na percepção do utilizador relativamente aos modelos criados.

	Óculos Passivos	Óculos Activos	Imersivo	Realidade Aumentada
Televisões 3D	X	X		
[Nvidia 3D Vision]		X		
[Oculus Rift]			X	
CAVE [Cruz-Neira et al. 1993]			X	
<i>HoloDesk</i> [Hilliges et al. 2012]				X

Tabela 2.3 - Tabela comparativa para sistemas de visualização 3D

Relativamente à interacção multitoque, vários autores defendem formas distintas de interagir e transformar objectos no plano/espço (tabela 2.4). Enquanto alguns defendem a manipulação directa, pois dá ao utilizador a possibilidade de proceder a varias manipulações simultaneamente, outros consideram melhor uma abordagem indirecta, recorrendo ao uso de *widgets*, por forma a separar os vários graus de liberdade e assim, evitar possíveis erros involuntários na interacção.

Podemos ainda verificar que as várias técnicas exploradas podem ir desde 4 (2D) até 9 (3D) graus de liberdade e que com excepção do *tBox* [Cohé et al. 2011], que utiliza *widgets*, todos os sistemas são de manipulação indirecta.

	DOF	Manipulação Directa	Manipulação Indirecta
TRS [Hancock et al. 2006]	4	X	
Sticky Tools [Hancock et al. 2009]	6	X	
<i>Shallow-Depth</i> [Hancock et al. 2007]	6	X	
<i>tBox</i> [Cohé et al. 2011]	9		X

Tabela 2.4 - Tabela comparativa para transformações geométricas em multitoque

3. Solução

Os avanços das tecnologias nas áreas da visualização 3D e captação de gestos permitem que geólogos se expressem através de cenários virtuais tridimensionais. Como descrito na secção anterior, ficaram claros alguns dos problemas que podem ocorrer em aplicações neste tipo, nomeadamente o elevado grau de complexidade e de peso computacional, sendo portanto necessário minimizar tanto quanto possível, senão eliminar, a sua ocorrência no trabalho a ser desenvolvido.

No presente capítulo, será descrita a solução adoptada, apresentada a arquitectura do sistema, os algoritmos utilizados, bem como os pontos fortes e as limitações da aplicação desenvolvida.

3.1 Proposta

Neste trabalho foi desenvolvido um sistema de interacção espacial baseado em esboços, capacitado de visualização 3D e multitoque, que permite atingir os objectivos propostos anteriormente (secção 1.3). Nesta secção demonstra-se que é de facto possível a utilização de uma interface baseada em gestos para a produção e manipulação de modelos geológicos 3D.

O sistema proposto tem como objectivo modelar superfícies, nomeadamente, mapas de alturas, fazendo uso da rapidez e expressividade de gestos e movimentos da mão. Por forma a exteriorizar rapidamente conceitos em superfícies, a interacção homem-computador é baseada em movimentos de um dispositivo de edição, através do recurso de tecnologias de captura de movimento, assim como de gestos e no toque utilizando uma mesa multitoque de grandes dimensões, colocado numa posição horizontal à altura da cintura (figura 3.1). Já a percepção 3D do conteúdo gráfico é conseguida através de um ecrã estereoscópico usando um par de óculos estereoscópicos activos, juntamente com uma câmara de profundidade que regista o posicionamento da cabeça do utilizador relativamente ao ecrã (figura 3.1). Esta característica vai permitir que seja gerada uma perspectiva de visualização adequada à posição do modelador.

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). A caneta é utilizada para a interacção espacial para modelar o conteúdo geométrico. Dentro da aplicação, o utilizador visualiza uma caixa virtual (*proxy*) para desenhar as superfícies e um menu para evocar as diversas funcionalidades de modelação e visualização. O modelador poderá utilizar a superfície multitoque para proceder a transformações geométricas sobre o modelo, bem como a adição de alguns pormenores geométricos ao mesmo. Limitado inferiormente pela superfície do ecrã, o espaço acima da superfície confere ao utilizador toda a liberdade necessária para desenhar livremente no ar um protótipo ou esboço de um terreno e de camadas estratigráficas.

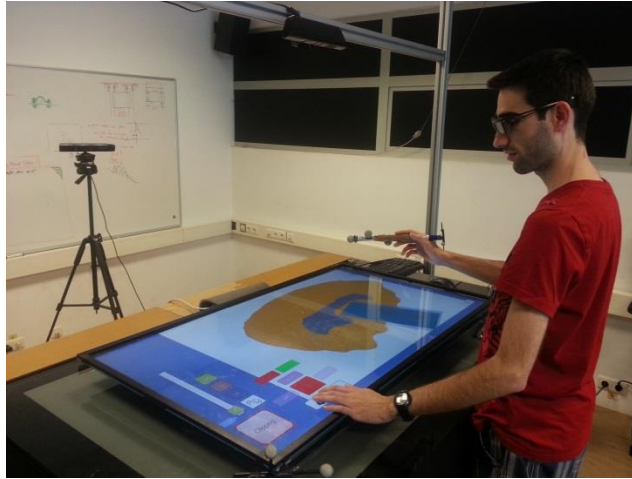


Figura 3.1 - Interação de um utilizador com o sistema proposto.

Deste modo, o utilizador pode criar cenários geológicos estratigráficos recorrendo ao dispositivo de desenho, quer esboçando as características globais do modelo, quer adicionando pormenores geométricos. O modelador pode alternar livremente entre a camada estratigráfica a modelar, assim como ajustar as suas alturas em qualquer momento da edição, sendo possível exportar os modelos num ficheiro digital comumente usado, o formato *.obj.

O menu lateral, tal como as transformações geométricas sobre o modelo, são acedidos através da superfície multitoque. Aqui, por forma a permitir uma visualização livre do cenário construído, é possível escalar, transladar e rodar o modelo, podendo o utilizador ainda definir planos de corte (i.e planos de *clipping*). Estas definem zonas de visualização, onde o modelo pode ser observado no seu interior.

Adicionalmente, o modelador pode ainda colocar pontos de perfuração no cenário estratigráfico, isto é, do início e final do poço de perfuração, para efeitos de esboço de prospecção mineira e de petróleo (figura 3.2).

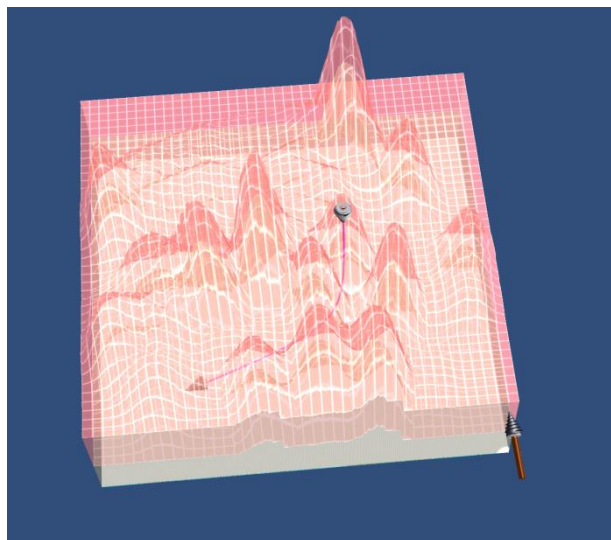


Figura 3.2 - Modelo com poço de perfuração gerado na aplicação GeoCake.

Especificamente, foram desenvolvidas nesta dissertação todas as funcionalidades da aplicação em causa, bem como o dispositivo de interacção utilizado para manipulação do cenário, tendo sido utilizados os módulos de captura de movimentos, de detecção do toque e criação da matriz de projecção personalizada ao utilizador.

3.2 Arquitectura

Para a concretização deste trabalho foi utilizado um *setup* que combina uma mesa multitoque de visualização estereoscópica, um sistema de captura de movimentos e uma camara de profundidade [Kinect] (figura 3.3).

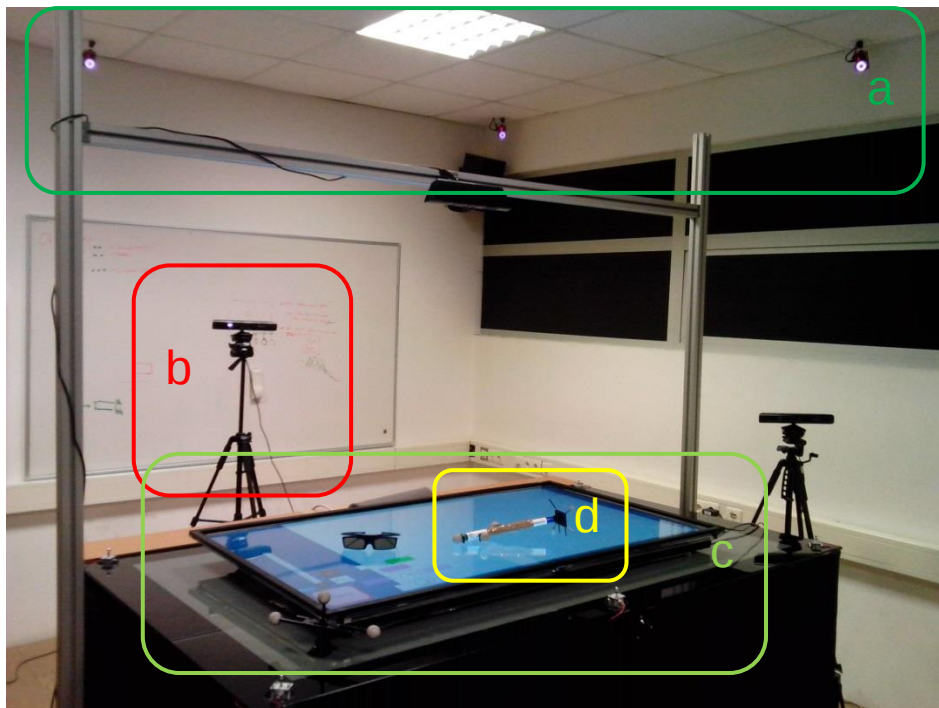


Figura 3.3 - Setup do sistema: a) Câmaras de infravermelhos [OptiTrack]; b) Câmara [Kinect]; c) Mesa com ecrã 3D multitoque; d) Dispositivo de interacção provido de marcadores ópticos.

A superfície da mesa multitoque é composta por uma televisão 3D, de dimensões 70x122 cm, deitada sobre uma base de cerca de 95 cm de altura. À sua volta está colocada uma moldura, dotada da tecnologia multitoque [Infrared Grid] (grelha de raios infravermelhos), para a captação dos pontos onde a superfície é tocada pelo utilizador. Uma grelha é depois gerada a partir de um conjunto de leds igualmente espaçados presentes na moldura que emitem raios de infravermelhos. Os raios são então detectados por foto-receptores do lado oposto da moldura. Quando um dedo toca no ecrã, o raio de infravermelhos que passa pelo ponto é interrompido e a posição da interrupção é detectada. Foi utilizado como sistema de captura de movimentos o [OptiTrack], sendo constituído por um conjunto de dez projectores e camaras de infravermelhos, colocados em volta da sala, que conseguem localizar no espaço um conjunto de marcadores reflectores. Para ser detectado pelo sistema, um marcador tem de estar á vista de pelo menos duas camaras. Assim, os instrumentos de

interacção com o protótipo estão dotados destes marcadores, definindo os corpos rígidos virtuais com posição e orientação no espaço definidos.

A camara de profundidade [*Kinect*] está colocada por detrás da mesa multitoque e tem como objectivo encontrar e localizar o modelador no espaço, filtrando o conjunto de esqueletos detectados. Esta informação tem como objectivo saber a posição da cabeça do utilizador relativamente ao cenário modelado na mesa.

O *setup* tem ainda um par de óculos activos com obturador, que em conjunto com o ecrã 3D da televisão, permite a visualização dos cenários em estereoscopia. Em combinação com a captura da posição do utilizador é possível criar um ambiente virtual, onde é dada, ao utilizador, a ilusão de que os modelos estão a sair da mesa, como que um holograma.

Relativamente à plataforma de desenvolvimento escolhido foi o motor de jogo [*Unity3D*], do qual foram usadas algumas funcionalidades de modo a criar uma aplicação interactiva que permite um conjunto de tarefas em real-time com resultados 3D convincentes. Para além de possuir um conjunto de ferramentas que simplificam a criação de conteúdos tridimensionais, é também capaz de representar os conteúdos geométricos de forma eficiente, permitindo um melhor desempenho à aplicação.

A partir do *setup* acima apresentado foi desenvolvida uma arquitectura modular que está esquematizada no seguinte diagrama (figura 3.4).

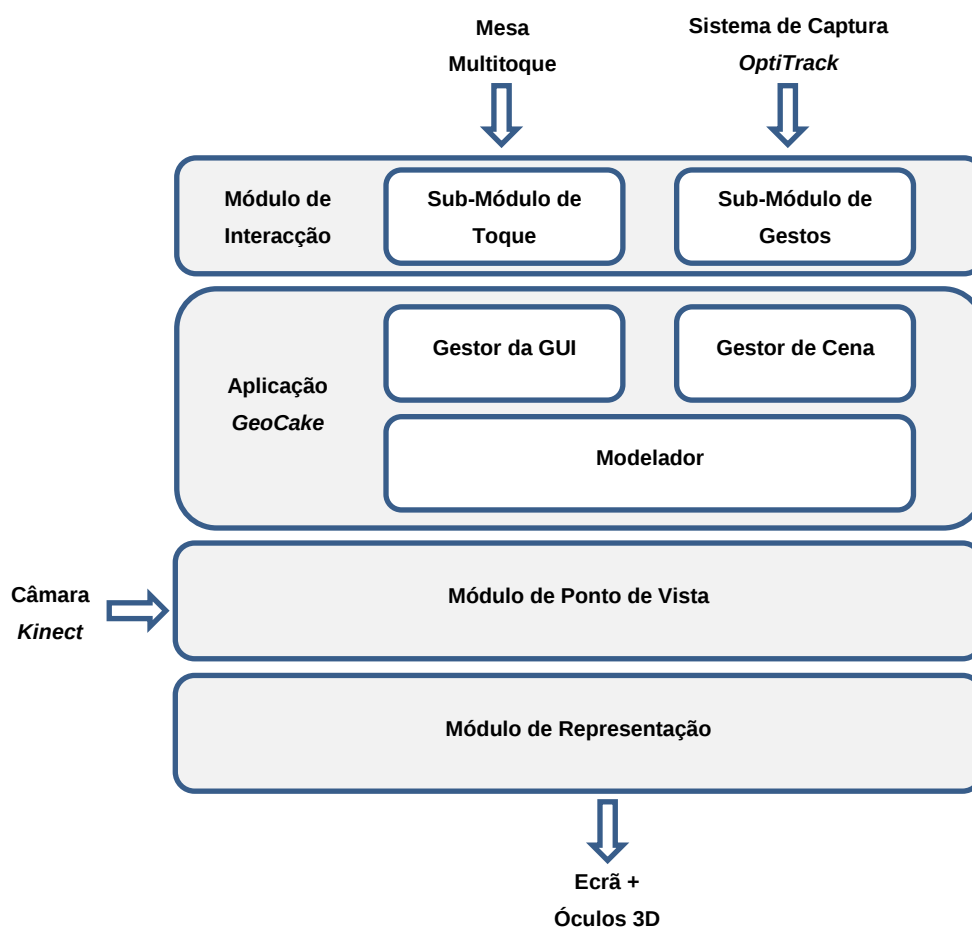


Figura 3.4 - Diagrama da arquitectura do sistema desenvolvido.

O **Módulo de Interacção** é responsável pela captura, envio e tratamento da informação de interacção com o programa.

De modo a permitir a interacção com o sistema por parte do utilizador foram criados dois sub-módulos que tratam a informação provenientes (i) da mesa multitoque e (ii) dos sensores de captura de movimentos. O **Sub-Módulo de Toque** capta a informação proveniente da mesa através da moldura situada em volta do ecrã em forma de coordenadas da mesa/ecrã, recorrendo à aplicação *zinFrame* da empresa [Zaag Tech] e envia-as para a aplicação segundo o protocolo [TUIO] (protocolo de mensagens multitoque), onde são transformadas em coordenadas no espaço do cenário.

O **Sub-Módulo de Gestos** utiliza as camaras do [OptiTrack] para captar a posição e orientação do instrumento de interacção na sala, com os marcadores, e envia-os para a aplicação onde, mais uma vez são convertidas em coordenadas no ambiente virtual. Neste último, a informação é em primeiro lugar passada a um computador que corre um servidor para a captura dos movimentos e enviada então por rede para o cliente que contém o protótipo. Como referido anteriormente, este tipo de captação de gestos, ao contrário de outras soluções, permite uma precisão e frequência de amostragem elevadas.

O **Gestor da GUI** vai utilizar a informação recebida pelo **Sub-Módulo Multitoque** para verificar se algum dos botões ou pegas (*widgets*) foi de facto seleccionado, alterando o estado da interface se exigido, tomando a acção correspondente ao botão seleccionado. Assim, é este gestor que gere as posições e tamanhos de cada botão, funcionamento de *sliders* (barras deslizáveis) e movimento das pegas.

O **Gestor de Cena** tem como objectivo utilizar o *input* por parte do módulo de gestos e multitoque para efectuar transformações sobre o cenário (translação, rotação, escala), assim como actualizar as posições dos instrumentos virtuais no espaço de modo a mapear os movimentos reais do utilizador com o instrumento de interacção. O gestor de cena tem ainda como objectivo converter as coordenadas no mundo do ambiente virtual para as coordenadas locais da *proxy* utilizada para modelação.

Por forma a utilizar os dados de entrada em cenários geológicos, o **Modelador** utiliza as coordenadas do instrumento de modelação para gerar conteúdo no modelo. Dependendo do modo em que a aplicação se encontra e a camada seleccionada é gerado e actualizado um mapa de alturas que traduz os gestos do modelador em modelos estratigráficos. Deste modo, o modelador possui um conjunto de métodos que gerem todo o conteúdo geológico do cenário, incluindo a verificação de estrangimentos e conflitos entre as várias camadas estratigráficas criadas.

A fim de dar uma representação mais realista do cenário ao utilizador o **Módulo de Ponto de Vista** faz uso de uma camara de profundidade [Kinect] para proporcionar à aplicação a posição da cabeça do utilizador relativamente à mesa. A camara escolhe o esqueleto do modelador e passa a sua localização ao sistema. O **Módulo de Representação** utiliza então estes dados para calcular a matriz

de projecção correcta para o utilizador dependendo da sua posição. Este módulo envia directamente a informação para o ecrã da mesa multitoque que, com os óculos estereoscópicos, cria a ilusão do conteúdo virtual estar efectivamente a sair da mesa.

Relativamente ao controlo indirecto do sistema, a GUI está dividida em dois modos principais, o estado de visualização (ou camara) e de edição. O modo de camara permite ao utilizador efectuar as transformações no espaço sobre o cenário, proceder à definição dos planos de corte (*clipping*) dos modelos e ajustar as alturas das camadas. O modo de edição dá ao utilizador as ferramentas para esboçar curvas de terreno, adicionar conteúdo directamente e fazer ajustes ao modelo recorrendo ao toque, podendo para tal o utilizador trocar o instrumento virtual de edição.

3.3 Protótipo

A interacção com o sistema segue um modelo bimanual assimétrico [Guiard 1987] que considera as acções do utilizador, dominância manual e espaços de interacção. Para este efeito, o sistema exige que o utilizador use a mão dominante (MD) para esboçar em pleno ar 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 (figura 3.5).

Ainda relativamente à geração de conteúdo 3D, este é 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. A MD segura uma caneta devidamente instrumentada com marcadores ópticos para que as coordenadas 3D e orientações sejam adquiridas usando a tecnologia de captura de movimento em tempo real.

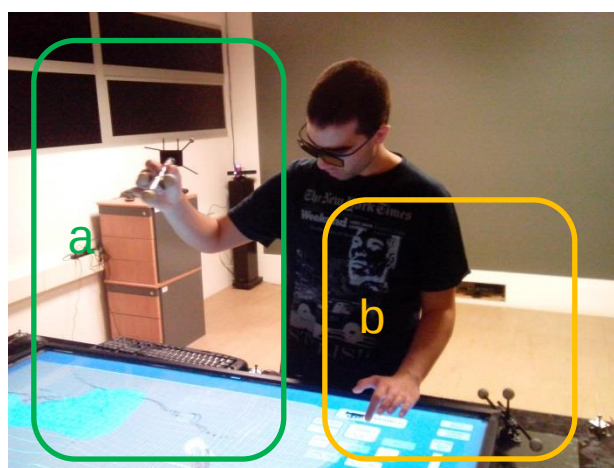


Figura 3.5 - MD segura o instrumento de interacção (a) enquanto a MND navega no menu da GUI (b).

Utilizando a ferramenta [Unity3D], foi desenvolvido um protótipo capaz de por em prática e concretizar os objectivos propostos. De modo a proporcionar uma visão mais clara de como o trabalho foi concretizado serão em seguida explicadas em detalhe as principais funcionalidades.

3.3.1 Interacção sobre a mesa

Como descrito anteriormente, a interacção sobre a mesa é feita recorrendo à tecnologia [*Infrared Grid*], que capta as posições dos toques no ecrã através de uma grelha de infra vermelhos gerada a partir de um conjunto de leds que se encontram na moldura presente em volta do ecrã.

A origem do sistema de coordenadas (x,y) da mesa situa-se no seu canto inferior esquerdo, com valores entre 0 e o tamanho máximo da mesa em ambos os eixos. O sistema de captura passa então estas coordenadas à aplicação.

Como o sistema é estereoscópico, no *viewport*, as duas camaras são colocadas uma sobre a outra (figura 3.6). Este facto faz com que seja necessário efectuar algumas transformações sobre as coordenadas de modo a obter a tradução exacta entre o ponto onde o ecrã foi tocado e onde a aplicação entende que o toque ocorreu no ecrã. A questão da estereoscopia será abordada, num tópico mais á frente, neste trabalho (secção 3.3.5).

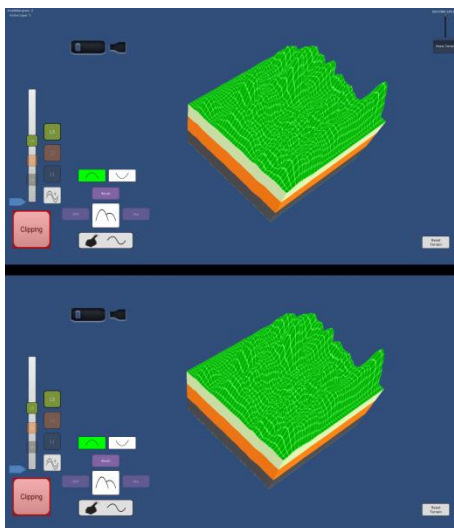


Figura 3.6 - Duas imagens 2D que compõe a imagem 3D.

Por forma a localizar os toques no espaço virtual da aplicação (em coordenadas do mundo), foi definida uma representação digital da mesa. Para tal, as dimensões da mesa são captadas por uma camara [*Kinect*] e guardadas num ficheiro *.txt (figura 3.7). Este é posteriormente lido no arranque da aplicação para definir as coordenadas no espaço onde estão localizados os cantos da mesa, com o seu localizado na origem (0,0,0).

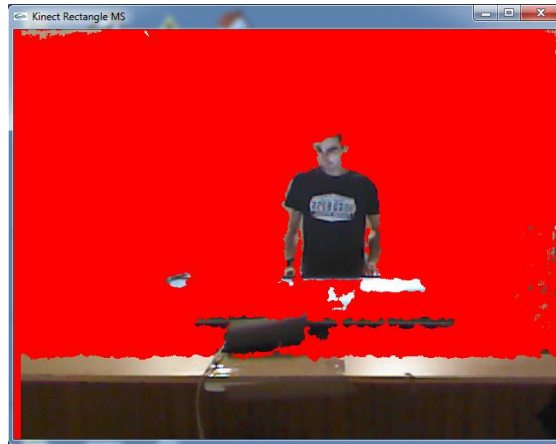


Figura 3.7 - Ecrã de calibração da localização da mesa multitoque [Kinect]

Com esta representação é então mapeado o ecrã na mesa virtual. Ou seja, através de uma simples conversão são mapeadas as coordenadas do toque no ecrã físico para a mesa virtual (figura 3.8).

$$virtualTablePoint = (0.5 - screenPoint / screenWidth) * tableWidth (1)$$

ScreenPoint representa o ponto onde ocorreu o toque no ecrã. Dividindo este valor pelo tamanho do mesmo (*screenWidth*), obtemos um valor normalizado (no intervalo [0,1]). Este valor é subtraído a 0,5 de modo a transladar a posição da origem no canto inferior da mesa para o centro desta (0,0). Por fim, este valor é multiplicado pelo tamanho da mesa *tableWidth* para obter a posição final dentro da mesa no espaço virtual.

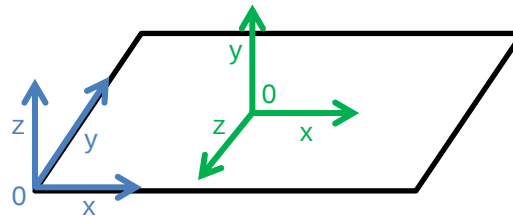


Figura 3.8 - Sistema de coordenadas física (azul) e virtual (verde).

A interação multitoque com a mesa pode ser feita com dois tipos de gestos. O gesto de tocar (*tap*) e largar serve essencialmente como meio de selecção, sendo sobretudo utilizado na interacção com o conjunto de botões presentes a GUI. O gesto de tocar e arrastar o dedo serve não só para interacção com os *sliders* (barra deslizadora) presentes na interface, como para interagir com o modelo quer na edição do cenário quer nas transformações espaciais sobre o mesmo.

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 and 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.

3.3.2 Interação gestual

A interação gestual com a aplicação ocorre com o auxílio de um instrumento de edição. Este assemelha-se a uma caneta ou ponteiro e está provido de um conjunto de marcadores reflectores (figura 3.9). Estes marcadores reflectem a luz infravermelha que é posteriormente captada por um conjunto de camaras situadas à volta da sala. A partir da triangulação feita pela captação das várias camaras, o sistema consegue saber com precisão milimétrica qual a posição e orientação do corpo rígido definido pelos marcadores no espaço da sala.

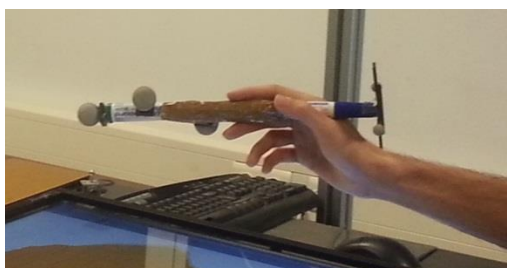


Figura 3.9 - Instrumento de interação provido de marcadores ópticos.

Os dados da posição e orientação da caneta são, em seguida, passados à aplicação onde é feita a sua conversão para o espaço virtual, onde se encontra o cenário. A fim de fazer a conversão dos dados, o sistema tem acesso às dimensões da mesa e à posição da sua origem (canto inferior direito) (figura 3.8). É de referir que a origem é também marcada recorrendo a um corpo físico dotado com marcadores, que é também ele captado pelo sistema de camaras, enviando a informação por rede ao protótipo.

Com os dados descritos, o sistema calcula se as coordenadas de entrada do objecto de interacção se encontram dentro do espaço físico que está acima da mesa, convertendo-as em coordenadas locais à mesma (entre 0 e o tamanho máximo do ecrã). Estas são, por fim, normalizadas em valores no intervalo de $[0,1]$.

O gestor de cena utiliza os valores normalizados da posição para transformá-los em coordenadas do mundo. A posição é primeiro passada para coordenadas do ecrã, i.e. com valores entre zero e as dimensões do ecrã (multiplicando o valor normalizado pelo seu tamanho), e são depois convertidas com um processo semelhante ao descrito para o toque na subsecção anterior (secção 3.3.1).

Com a posição no espaço virtual e a orientação do objecto físico é actualizada a informação sobre a posição e orientação do objecto de desenho virtual que é mapeado, no espaço da aplicação, na ponta do instrumento físico com um determinado *offset*. O *offset* garante que o dispositivo de edição virtual não fique oculto pelo físico.

A altura do objecto virtual é calculada a partir da altura da caneta relativamente à mesa, que representa o zero. O valor é então multiplicado por um factor de escala a fim de mapear da forma mais realista possível a altura física na virtual.

Quanto à edição gestual, esta pode ocorrer de três formas diferentes. O objecto de edição virtual assume três aspectos gráficos possíveis, isto é, o utilizador pode alternar entre três instrumentos diferentes, cada um associado a uma funcionalidade característica, em que se apresentam como um objecto 3D que se assemelha à sua função.

Nomeadamente, o dispositivo virtual pode adquirir as seguintes formas (figura 3.10):

- Desempenadeira ou talocha (*trowel*, em inglês), que permite uma edição directa dos mapas de alturas, elevando ou deprimindo as superfícies;
- Caneta ou ponteiro com ponta esférica (esferográfica), a fim de desenhar os esboços, representados como curvas de nuvens de pontos;
- Caneta ou ponteiro com ponta em forma de broca, para marcar pontos da perfuração de um poço.



Figura 3.10 - Avatares dados aos dispositivos virtuais: talocha, caneta com ponta esférica e broca (da esquerda para a direita).

3.3.3 Modelação 3D na Mesa

Utilizando a superfície multitoque da mesa como meio de interacção com o protótipo, é possível desempenhar vários tipos de acções, desde a interacção com a GUI, até à adição de detalhes ao modelo. Extremamente importante para o processo de modelação é a visualização do conteúdo 3D segundo diferentes pontos de vista e ângulos de câmara. Para visualizar o conteúdo modelado, transformações afim podem ser aplicadas pelo modelador sobre o conteúdo da mesa recorrendo também ao multitoque [Kim et al. 2006].

Quanto às citadas transformações geométricas sobre o cenário, a aplicação permite ao utilizador transformar os modelos (em particular, a *proxy*) segundo cinco graus de liberdade (5-DOF), nomeadamente dois graus de translação, dois graus de rotação e um de escala uniforme. Para tal, o utilizador tem ao seu dispor o gesto de tocar e arrastar os dedos sobre a superfície, dependendo a acção escolhida do número de dedos usados e direcção do seu movimento.

A translação ocorre apenas em dois graus de liberdade pois apenas é contemplada o movimento da *proxy* sobre o plano (x,z) , não sendo do interesse neste trabalho alterar a altura em que se encontra o cenário (coordenada y) na medida em que é útil a superfície da mesa definir o limite inferior da altura deste.

No caso das transformações de rotação, mais uma vez, o utilizador apenas pode manipular dois dos graus de liberdade. São estes, rotação em torno dos eixos yy (*yaw*) e de xx (*pitch*). O terceiro grau foi excluído na medida em que não foi encontrada vantagem em rolar o modelo para a esquerda ou para a direita em termos de compreensão do cenário.

Em termos de gestos sobre a mesa, de modo a movimentar o modelo, isto é, proceder á sua translação sob o plano no espaço, o modelador utiliza um só dedo para interagir com a superfície. Este deve então ser arrastado na direcção pretendida para mover o conteúdo da aplicação. Apesar de a translação ser feita na direcção do movimento do toque a uma velocidade aproximada ao mesmo, foi definido um limite para esta velocidade. Esta opção foi tomada de modo a manter o desfecho da acção previsível, impedindo o utilizador de cometer involuntariamente um erro através de um movimento demasiado brusco.

Por forma a escalar o modelo, o modelador necessita de dois dedos. Estes devem ser arrastados de encontro um ao outro ou afastando-os um do outro. O movimento deve aproximar a forma de uma linha recta. Ao afastar os dedos, o utilizador, aumenta a escala do cenário, aumentando o seu tamanho, caso contrário o cenário é escalado diminuindo o seu tamanho.

É de referir que a escala tem um limite superior e um inferior que nunca é ultrapassado, isto é, a *proxy* onde é desenvolvido o cenário tem sempre um tamanho máximo e mínimo fixo. Assim, o tamanho máximo corresponde ao tamanho máximo dos mapas de alturas utilizados como superfícies e o tamanho mínimo a cerca de 10% do tamanho máximo. Um tamanho mínimo foi definido de modo a impedir que o utilizador fizesse o modelo ‘desaparecer’.

Quanto á rotação pode ser efectuada de duas formas distintas, a primeira roda o modelo em torno do eixo vertical yy e a segunda em torno de xx .

Para rodar o cenário em torno de yy , o modelador deve utilizar dois toques, arrastando os dedos de forma circular em relação um ao outro. Este movimento permite que a aplicação crie a cada instante um vector entre as posições dos dois dedos e calcula o angulo entre este e o vector calculado no instante anterior. Este angulo é por fim utilizado para adicionar ao valor de rotação em yy do objecto referente ao cenário.

A fim de rodar o modelo em torno do eixo xx o utilizador deve usar mais de dois dedos. Esta foi uma decisão tomada como meio de desambiguar esta transformação das restantes efectuadas com dois dedos, na medida em que ajuda o modelador a evitar acções de escalonamento indesejadas. O utilizador pode então arrastar os dedos em movimentos ascendentes ou descendentes no ecrã de modo a rodar o cenário para cima ou para baixo. O tamanho do vector de movimento dos toques (é

calculada uma média dos movimentos) a cada instante é então adicionado ao ângulo de rotação em *xx* do objecto referente ao cenário.

Esta transformação é importante na medida em que permite ao modelador observar de forma fácil a parte lateral da *proxy* que apresenta de forma clara as várias camadas estratigráficas.

O modelador tem ainda a possibilidade de definir planos de corte segundo os eixos *xx* e *zz* sobre o cenário (planos de *clipping*). Esta tarefa dá ao utilizador um meio de visualizar o interior do modelo que, de outro modo, estaria oculto, facultando uma melhor compreensão do mesmo.

De modo a dar acesso a esta funcionalidade, estão presentes em volta do modelo quatro pegas (nos quatro cantos inferiores da *proxy*). Cada pega marca dois limites, um em cada um dos eixos, permitindo ocultar todo o conteúdo que se situa atrás deste. Assim, a porção do cenário mostrado depende dos pontos em que estes se encontrem.

As pegas podem ser acedidas tocando nelas e arrastando-as para a direcção desejada. De imediato os limites de oclusão são alterados, dando ao modelador a possibilidade de ver para o interior do modelo. De cada vez que é detectado um toque num *widget*, o sistema escolhe este no lugar de uma possível transformação espacial sobre o cenário. É importante frisar que, de modo a manter a coerência espacial, a aplicação não permite que uma pega atravesse a fronteira definida por outro. A forma de desempenhar as transformações geométricas sobre o cenário, bem como a manipulação das pegas para os planos de corte está explicada em detalhe no Manual de Utilizador (Apêndice A).

Qualquer alteração relativamente à parte do modelo visível é reportada por um indicador na interface. Esta apresenta desta forma um pré-visualizador que ajuda o modelador a situar-se. Esta pequena funcionalidade é muito útil dado que apresenta um meio de saber qual a parte do cenário oculta e qual a porção visível (figura 3.11).

É ainda de referir que os *widgets* são automaticamente ocultos quando o sistema está em modo de edição, estando esta ferramenta, de forma semelhante às transformações afins, apenas disponível no modo de câmara da aplicação. Esta decisão foi tomada como forma de manter a interface simples e limpa.

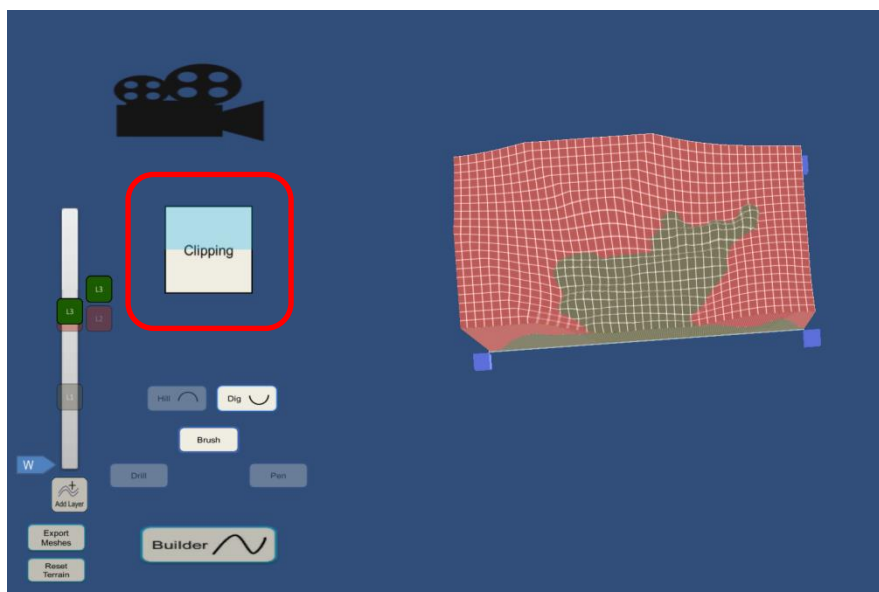


Figura 3.11 - Informação sobre a parte do cenário visível/oculta.

Para além da visualização o toque pode também ser utilizado para editar o modelo. Ainda no modo de camara o modelador pode redefinir as alturas de cada uma das camadas.

As alturas das camadas podem ser redefinidas e ajustadas recorrendo a um barra (*slider*) que possui uma representação visual das posições destas em forma de botões selectores. Assim, o utilizador pode seleccionar o botão correspondente a cada uma das camadas e arrastá-lo para cima ou para baixo na barra alterando desta forma a sua altura. A altura destes é ainda actualizada a cada instante de acordo com a edição feita pelo modelador no cenário, proporcionando a qualquer momento uma pré-visualização das posições das camadas no cenário (figura 3.12).

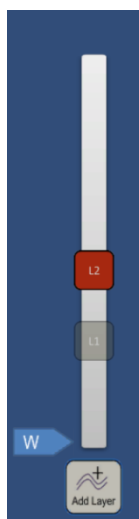


Figura 3.12 - Barra de selecção/ajuste de camadas.

A selecção da camada utilizada para edição é também feita recorrendo a estes botões.

No início, apenas está visível um botão correspondente á primeira das camadas, sendo que de cada vez que o modelador queira adicionar mais uma deve seleccionar o botão existente para o efeito. No caso de dois botões se interceptarem, é apresentado um menu de desambiguação ao lado destes

(figura 3.12). A aplicação não permite que a ordem das alturas dos selectores correspondentes a cada uma das camadas seja alterada, garantindo que as camadas mantenham a mesma posição relativa entre elas. Este mecanismo faz com que a ordem com que as camadas se apresentam seja mantida do início ao fim da modelação.

A barra possui ainda um botão deslizável que dá ao modelador a possibilidade de definir o nível das águas no cenário, dando maior diversidade na criação dos modelos geológicos (figura 3.12).

A fim de proceder á edição do conteúdo (figura 3.13), as coordenadas dos pontos de toque são mais uma vez transformadas. Isto faz com que o ponto em coordenadas do mundo virtual seja mapeado em coordenadas locais da superfície de edição na *proxy*. Deste modo, posições inferiores a zero ou superiores ao tamanho máximo da superfície de edição são automaticamente excluídos. As posições válidas são enviadas para o modelador da aplicação que vai alterar o mapa de alturas da camada nesses locais.

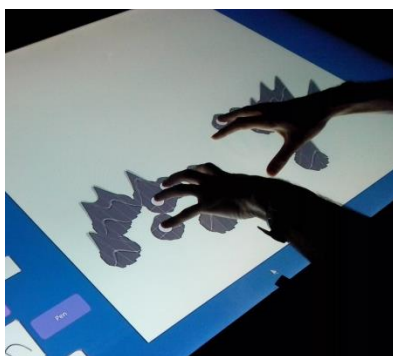


Figura 3.13 - Edição através de multitoque.

Por fim, a interacção multitoque garante ao modelador uma forma de acrescentar algum detalhe ao modelo. Através do toque no modelo são criadas elevações ou depressões de área mais reduzida nas superfícies, recorrendo a Gaussianas circulares para o efeito (figura 3.14). É ainda possível introduzir várias Gaussianas circulares em simultâneo tocando na tela em vários pontos ao mesmo tempo (figura 3.13).



Figura 3.14 - Gaussiana circular.

3.3.4 Modelação 3D no Ar

A interacção através de gestos no ar apenas é possível através de um processo especializado para a sua captura. Para tal, o utilizador encontra-se cercado por câmaras de captura de movimento que monitorizam continuamente os marcadores ópticos que instrumentam o dispositivo de modelação

Note-se que o sistema de interacção espacial desenvolvido neste trabalho baseia-se no seguinte princípio de modelação: partindo de um cenário sem dados, a estrutura geral de uma superfície geológica pode ser modelada por um conjunto bastante limitado de gestos grosseiros no ar. Em particular, a modelação e edição de superfícies consistem na alteração de um mapa de alturas através da introdução de várias elevações e depressões. A edição ocorre dentro de uma área disponibilizada para o efeito (i. e. dentro da *proxy*).

O conteúdo é então adicionado ao modelo, acrescentando valores ao mapa de alturas na posição do dispositivo de desenho no plano (figura 3.15). A nova altura nesse local corresponde à amplitude de uma função super-Gaussiana elíptica,

onde A é a amplitude ou altura da caneta; x_0 e y_0 o centro; σ_x e σ_y a variância segundo x e y , respectivamente; $\gamma \geq 1$ 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 2) 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 yy que sai da mesa. A adição desta característica dá ao modelador a possibilidade de adicionar mais algum detalhe à edição.

É ainda de referir que esta adição de conteúdo é feita de forma incremental até ser atingida a altura do dispositivo de desenho, permitindo alterações mais suaves na superfície. A velocidade é proporcional à altura dos dispositivos, de modo que o tempo de ajuste do conteúdo seja igual qualquer que seja a altura.

Por forma a marcar possíveis pontos de perfuração no modelo para simular, por exemplo, a exploração mineira, o utilizador pode seleccionar um instrumento de edição virtual diferente (em forma de broca - figura 3.10).

Os pontos de perfuração são adicionados aos pares, um à superfície, correspondendo ao local de início de perfuração, e outro no interior do modelo, correspondente ao destino e à possível localização de, como por exemplo, um poço de petróleo. Os pontos são colocados exactamente na ponta do instrumento e apenas dentro nos limites da *proxy* que define a área de edição, bastando o utilizador tocar no botão de activação. Caso o utilizador por lapso adicione um ponto imediatamente abaixo deste a sua altura é corrigida para zero.

Após adicionados os dois pontos é automaticamente gerado um caminho de perfuração entre ambos (figura 3.2). Em caso de engano, o utilizador pode de forma simples apagar a ultima curva gerada tocando no botão correspondente. Podem ser apagados tantos pontos quanto desejados.

A representação escolhida para a ligação entre os dois pontos foi o da curva de *Bézier* quadrática. A curva de *Bézier* é uma curva polinomial expressa como a interpolação linear entre alguns pontos representativos, denominados de pontos de controlo.

$$B(t) = (1-t)^2 B_0 + 2t(1-t)B_1 + t^2 B_2, t \in [0,1] \quad (3)$$

Dado que a curva de *Bézier* quadrática, como representado na equação anterior (3), tem três pontos de controlo (B_0, B_1, B_2), e o utilizador marca apenas dois pontos, sendo um terceiro é gerado automaticamente, como ponto intermédio, de modo a permitir a criação da curva. Deste modo, o novo ponto intermédio vai herdar as coordenadas de x e z do ponto à superfície, situando-se portanto exactamente abaixo deste, e a coordenada y do ponto no interior do modelo.

O *avatar* da caneta, como dispositivo de desenho, pode ser usado para a adição de esboços. Os esboços são representados por um conjunto de pontos (foram escolhidos pequenos cubos como representação) como forma de expressar o caminho seguido pela caneta, tocando no botão de activação para activar/desactivar o desenho do esboço (figura 3.17).

A partir dos esboços a aplicação pode ajustar localmente, se o utilizador assim o desejar, o mapa de alturas da camada em edição à altura dos pontos marcados. Esta função é principalmente útil se o modelado quiser adicionar ao modelo um conjunto de depressões ou elevação, tal como uma pequena cordilheira montanhosa. Para desempenhar a tarefa, a aplicação começa por fazer uma filtragem aos pontos, eliminando todos aqueles que se encontram muito próximos uns dos outros. Em seguida, optou-se por ordenar os pontos em termos da sua altura, do mais baixo para o mais elevado. Esta opção foi tomada como forma de garantir uma prioridade aos pontos mais altos em detrimento dos mais baixos. Caso contrário, dar-se-ia que existindo dois pontos próximos no mapa de

alturas, com elevações diferentes, o ponto mais baixo pudesse anular a elevação criada pelo mais alto (figura 3.16). Quando o utilizador se der por satisfeito com os esboços adicionados, o sub-módulo de modelação da aplicação pega então na lista de pontos ordenados e adiciona conteúdo ao mapa de alturas de maneira a criar as elevações e/ou depressões com as alturas determinadas. Mais uma vez é utilizada uma super-Gaussiana (Equação 2) para o efeito. Após esta operação, as curvas de nuvens de pontos são apagadas. Tal como nos pontos de perfuração, também neste caso, é possível apagar o ultimo esboço criado, utilizando o botão referido.

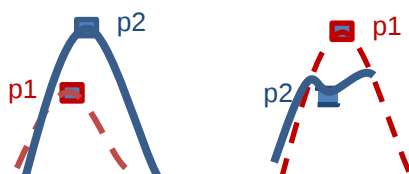


Figura 3.16 - Adição de detalhes com a caneta - ponto p2 prevalece sempre em relação a p1.

Além da edição local, o sistema proporciona aos utilizadores um método para ajustar um mapa de alturas a curvas de pontos esboçadas, que apresentem as características geológicas intencionadas para efeitos de modelação ou ilustração. Mais uma vez a aplicação começa por filtrar os pontos constituintes de todas as curvas, eliminando não só pontos que tenham a mesma posição no mapa de alturas, mas também que se situem demasiado próximos uns dos outros (pontos dentro de uma vizinhança de $0.01 * largura_da_proxy$ são descartados). Este passo é importante pois permite evitar erros no algoritmo de ajuste da superfície que será referido de seguida.

Por forma a interpolar as curvas de pontos esboçados e ajustar um mapa de alturas, é utilizado o método TPS (*Thin Plate Spline*), que consiste numa interpolação implícita de superfícies comumente usada como método de reconstrução tridimensional dado um conjunto de pontos [Bærentzen et al. 2012]. A TPS pode ser representada em termos de uma soma ponderada de funções de base radial (*radial basis functions*, ou RBF) que mapeia x numa nova localização $f(x)$,

$$f(x) = \sum_{i=1}^K c_i \varphi(\|x - w_i\|) \quad (4)$$

onde $\|.\|$ é a norma euclidiana, c_i é um conjunto de coeficientes de mapeamento, w_i é um ponto de controlo (com i entre 1 e K) e φ representa a RBF (com $\varphi = r^2 * \log(r)$). A utilização de RBF's para a geração de superfícies na modelação de terrenos não é nova [Bærentzen et al. 2012], sendo que o princípio de modelação consiste na determinação de uma superfície implícita definida como uma função escalar de valores reais $s(x)$, de tal forma que todos os pontos fornecidos satisfaçam a condição $s(x)=0$, podendo escrever um sistema de K equações por K incógnitas. Os coeficientes da superfície c_i são então calculados resolvendo um sistema de equações lineares. É de referir que de modo a construir uma superfície o algoritmo necessita de pelo menos 3 pontos de controlo (neste caso, com 3 pontos o algoritmo gera um plano interpolador). Esta representação foi escolhida não só pela boa performance que apresenta com as quantidades de pontos esboçadas, como garante que a

superfície passa efectivamente por eles, proporcionando um comportamento fluido e com resultados dentro do esperado ao utilizador.

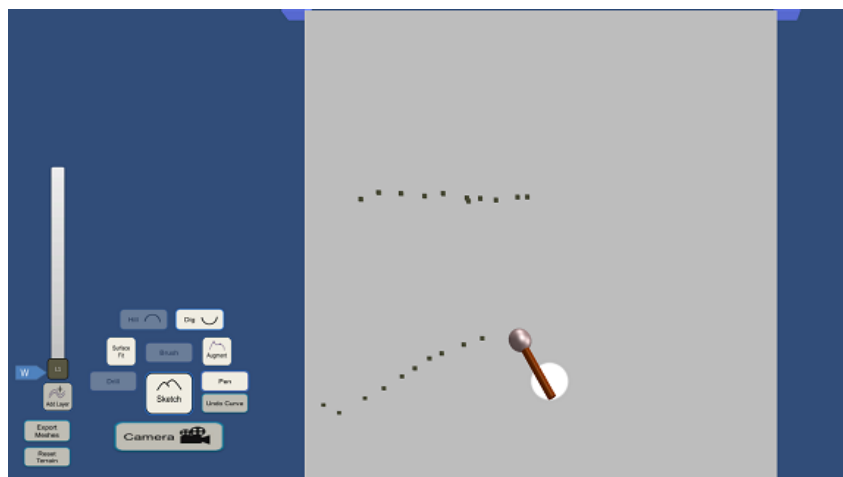


Figura 3.17 - Utilização da caneta para esboçar curvas de pontos.

Por fim, é importante acrescentar que o descrito botão de activação, que permite controlar quando algo é ou não desenhado, é o mesmo para qualquer que seja o instrumento de edição virtual utilizado.

Uma explicação detalhada de como interagir gestualmente com o sistema pode ser encontrada no Manual do Utilizador (Apêndice A).

3.3.5 Visualização

A visualização do conteúdo aquando e após a criação do cenário é um factor importante na compreensão dos dados e, consequentemente, numa melhor interacção com o sistema.

Neste trabalho, foi utilizado um sistema de visualização estereoscópica com auxílio de um captador da posição do utilizador, por forma a retornar uma vista personalizada para o mesmo.

Foram ainda adicionadas algumas características visuais à aplicação que permitiram minimizar problemas como a oclusão ou a co localização do dispositivo de interacção no sistema como descrito de seguida

De modo a implementar o sistema de estereoscopia são utilizadas duas camaras virtuais na cena, posicionadas com uma pequena diferença uma da outra, a fim de simular a diferença nas posições dos olhos (figura 3.6). As duas imagens geradas são colocadas no ecrã uma acima da outra e misturadas pela televisão 3D, mostrando cada imagem de forma alternada. Estas são captadas pelos óculos de visualização 3D com obturador, usados pelo utilizador, filtrando as duas imagens emitidas pelo ecrã e separando a imagem correcta para cada olho.

Como referido anteriormente, é utilizado um sistema de captura da posição do utilizador como forma de melhorar a percepção tridimensional, recorrendo a uma camara [Kinect].

O sistema proposto começa por escolher o esqueleto do utilizador captado que de facto se refere ao modelador do sistema. Para tal, considera-se que o modelador em interacção com a aplicação tem o esqueleto detectado cuja distância ao centro da mesa é a menor.

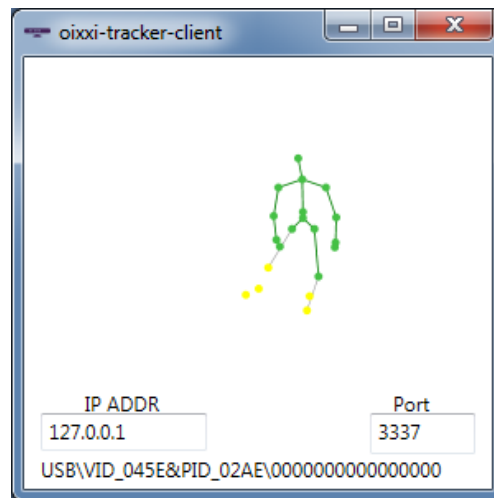


Figura 3.18 - Esqueleto escolhido pelo [Kinect].

A posição do esqueleto é posteriormente enviada à aplicação que, com base nesta, calcula a matriz de projecção personalizada para o utilizador, actualizando as posições das camaras na cena para a posição mapeada do modelador no mundo virtual. No cálculo da matriz de projecção foi utilizada a *Generalized Perspective Projection* [Kooima 2008]. Esta foi considerada útil na medida em que, ao contrário de outros tipos de projecção, não assume que o utilizador esteja posicionado imediatamente á frente do ecrã estando orientado de forma perpendicular a este, mas sim tome em conta posição e orientação do utilizador relativamente a ele, o que é de facto o pretendido.

É importante portanto que o sistema de captação seja preciso em captar apenas um e um só utilizador de cada vez. Caso contrário, é possível que o sistema entre em conflito, tentando gerar imagens para dois ou mais utilizadores criando-se um efeito de intermitência (*flickering*).

Quando o modo de camara é seleccionado são imediatamente geradas as tampas laterais para cada uma das camadas na caixa *proxy*. Estas tampas ou faces permitem ao modelador observar com melhor precisão as fronteiras e áreas cobertas por cada camada. Desta forma é feita uma triangulação simples entre os pontos fronteiros de cada uma das camadas (figura 3.19).

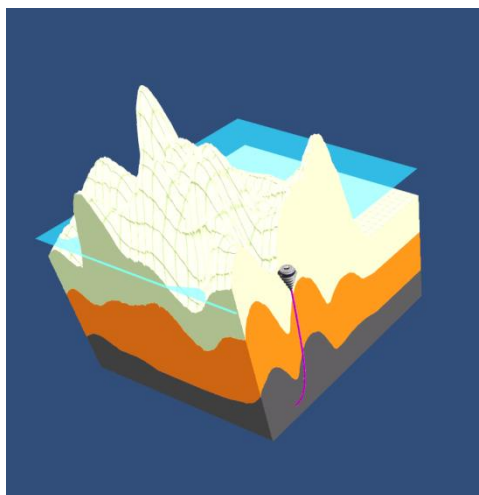


Figura 3.19 - Tampas laterais geradas entre as superfícies das camadas.

Para a geração das malhas para as tampas laterais foi criado um triangulador básico que emparelha os pontos dos pares de camadas. Os triângulos pares são formados pelo ponto i na fronteira de uma das superfícies e pelos pontos i' e $i'+1$ na superfície a cima. Os triângulos ímpares são formados pelos pontos i e $i+1$ da fronteira da superfície abaixo e pelo ponto $i'+1$ da superfície acima, como ilustrado na figura seguinte.

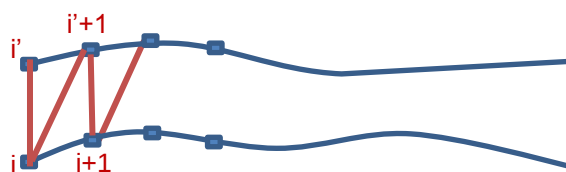


Figura 3.20 - Algoritmo de triangulação.

Por forma a minimizar o efeito de oclusão provocado aquando um utilizador tenta reeditar uma camada localizada geologicamente abaixo de outra, a aplicação garante que todas as camadas acima da citada fiquem translúcidas. Este efeito é imediatamente activado se o modelador seleccionar uma camada que não seja a de cima, mas apenas se verifica no caso de a aplicação se encontrar no modo de edição. No modo de camera todas as camadas são opacas para garantir uma melhor visualização e exploração do modelo.

Como excepção a este caso, o efeito de transparência é também activado no caso de o utilizador ter o dispositivo de adição de pontos de perfuração (broca) seleccionado (figura 3.2). Esta excepção deve-se ao facto do modelador querer com alguma probabilidade conseguir observar o interior do cenário de maneira a visualizar o ponto criado no dentro do modelo e o caminho de perfuração gerado.

Este efeito de transparência é apenas possibilitado pelo *shader* criado de propósito para este trabalho. Para além da transparência das camadas, é o *shader* que a partir de um conjunto de

parâmetros define os limites nos quais o cenário é ou não desenhado permitindo ao utilizador definir os já referidos planos de corte (*clipping*). O *shader* criado aceita ainda os ângulos de rotação do modelo a fim de acertar os planos de corte do cenário quando este sofre alguma transformação afim. É de referir que todos os mapas de alturas e tampas laterais geradas no modo de camara possuem um material com este *shader*.

Por fim e de modo a melhorar a percepção de co localização do instrumento de edição no espaço virtual foi implementado um foco de luz que ilumina a área imediatamente abaixo do dispositivo com círculo de luz. Esta funcionalidade dá ao utilizador a capacidade de ter sempre noção da localização no mapa de alturas onde vai ser efectuada a edição, independentemente da altura em que o dispositivo virtual se encontra (figura 3.21). O foco de luz está acoplado ao instrumento de edição virado para baixo, perpendicularmente a este, movendo-se em concordância com ele.

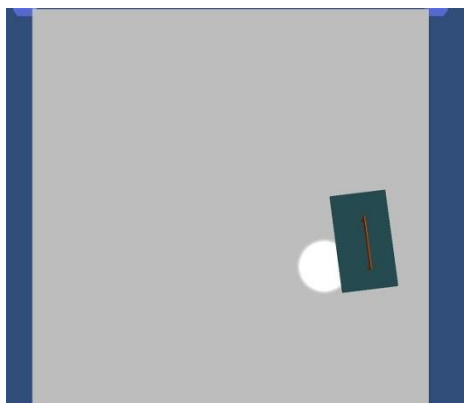


Figura 3.21 - Foco de luz no plano para co localização.

3.4 Discussão

Foi importante encontrar um equilíbrio entre o grau de complexidade e as funcionalidades disponíveis, de forma a proporcionar o máximo de liberdade ao utilizador com a máxima simplicidade, pois é fulcral que o sistema seja passível de ser utilizado também por utilizadores com menos experiencia. Deste modo, foi ainda indispensável que o sistema mantivesse sempre visíveis informações básicas e claras sobre o seu estado.

Neste trabalho, a convenção adoptada para construir um modelo geológico consiste em partir de “baixo para cima”, isto é, adopta-se como a primeira superfície a camada mais profunda e as camadas seguintes vêm empilhadas por ordem estratigráfica, terminando-se com a criação da camada geologicamente mais próxima do ponto de visto do utilizador, ou seja, a superfície do terreno. Note-se que, devido à semelhança óbvia, os modelos aqui considerados designam-se por “camadas de bolo” (em inglês, “*cake-layer*” model) por terem como característica dominante o empilhamento homogéneo de camadas, isto é, não apresentam falhas nem dobras geológicas.

Uma sessão de modelação começa com a primeira camada de superfície definida para a altura zero. Cada superfície é depois modelada de forma independente de baixo para cima, sendo adicionada uma nova camada sempre que desejado. Desta forma, o terreno é modelado por último. Essa restrição de modelagem é importante pois dá ao modelador um sentido de ordem no processo de modelação e, mais importante, permite que o modelador possa supervisionar se alguma intersecção de superfícies ocorrer.

Foi, assim, possível construir uma aplicação, com um conjunto de funcionalidades uteis, capaz de permitir a um modelador modelar de forma geral e com poucos gestos cenários geológicos, podendo a qualquer altura proceder à exportação das superfícies modeladas.

É na definição de superfície adoptada neste trabalho que se verifica uma das maiores limitações em termos de representatividade geométrica. O facto de ser considerado um empilhamento homogéneo de camadas na construção dos modelos, neste caso representado por mapas de alturas, torna perto de impossível a representação de alguns fenómenos geológicos, como o caso das referidas dobras e falhas. Por sua vez, a vantagem desta estrutura de dados é proporcionar uma representação simples, facilmente actualizável e leve para o sistema computacional. Fica porém claro que, para representar determinadas características geológicas seria necessária uma alteração na representação utilizada.

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. A adição de detalhes por via do toque é, no entanto passível de algumas melhorias pois, apesar de conferir a capacidade de modelar com precisão pequenos detalhes dos modelos, devido à matriz de projecção personalizada e ao uso da estereoscopia, em camadas com alguma altura, o mapeamento do toque pode parecer algo desfasado ao modelador, dependendo da sua perspectiva. Isto acontece porque o mapeamento é feito sempre para o plano com altura zero. Convém não esquecer que, apesar de ser possível adicionar detalhes mais finos aos objectos geológicos, o propósito principal do sistema é de criar esboços 3D de camadas geológicas, não havendo em tais esboços lugar para adicionar detalhes muito intrincados ou numerosos.

Na modelação gestual, o facto de poder ser seleccionado um de vários dispositivos virtuais diferentes, tem a grande vantagem do utilizador poder pré-visualizar qual o tipo de acção que vai desempenhar. Ao utilizar a desempenadeira (ou talocha) é possível criar elevações e depressões de forma suave graças ao ajuste gradual da superfície à altura do dispositivo. Os esboços trazem a grande vantagem de permitirem, de forma simples, através do desenho de um conjunto de curvas de pontos definir as principais características da superfície pretendida. Além disso, é ainda possível acrescentar características relevantes ao cenário como o leito de um rio ou uma cordilheira montanhosa esboçando o seu contorno no local desejado.

Com a utilização da caneta surge, no entanto, outro problema. Este ocorre devido à oclusão da mão/dispositivo de edição ao conteúdo que pode ocorrer durante a interacção com o sistema. Isto é, verifica-se que a percepção tridimensional gerada pelos óculos é fortemente afectada quando um objecto físico intercepta os objectos 3D virtuais.

Ainda na edição do cenário, é de referir a barra de ajuste das camadas que faz de três em um. Para além de dar ao modelador uma ferramenta de monitorizar continuamente a altura das varias camadas e de permitir o seu ajuste sempre que necessário, ainda serve de meio de selecção de qual a superfície a editar.

A utilização de um botão para activar/desactivar a edição merece também uma referência. Apesar de poder parecer desnecessário, a sua utilização é útil na medida em que permite ao modelador definir quando quer começar, por exemplo, a esboçar uma linha e quando quer terminar, tornando se muito mais preciso do que qualquer gesto que possa ser interpretado por um meio de captura.

Uma característica do sistema desenvolvido que pode ser encarado como uma desvantagem prende-se com a utilização de uma GUI (*graphic user interface*) com um úmero elevado de botões, que obriga o modelador a interagir, em vários casos, de forma indirecta com o sistema por forma a alterar os modos e opções da aplicação. Apesar de ser claro que muitas funcionalidades implicam muitos botões, é importante não esquecer que muitos botões podem implicar mais confusão para o utilizador. Uma redução deste número seria, no entanto complicado dado que seria necessário definir todo um vocabulário gestual, não ambíguo, para mapear as funções. Uma possível alternativa seria acoplar alguns botões ao dispositivo de interacção (caneta) ou mesmo utilizar outro dispositivo que já possuísse um determinado número de botões (ex. [Wii Remote]). Ainda assim tentou-se, tanto quanto possível, reduzir este número ao mínimo possível, tendo sido tido em conta um conjunto de factores no desenho da interface, como a disposição dos botões, escolha dos nomes e cores, de modo a proporcionar uma interacção mais natural e agradável. Por forma a evitar erros foi criado um botão que activa/desactiva a edição do cenário.

A existência de uma função de exportação dos modelos desenvolvidos trás também grande vantagem ao sistema, pois permite que o utilizador possa reutilizar o cenário criado mais tarde para fins de apresentação ou mesmo refinação dos mesmos noutros *softwares* especializados.

Como descrito na secção 3.3.2, a captação dos gestos ocorre através de um conjunto de camaras que, recorrendo a marcadores ópticos, recolhe informação sobre a posição e orientação de um dispositivo deles dotado. A grande vantagem deste sistema é sem dúvida a precisão com que a posição é captada. No entanto, esta tecnologia obriga também a que o modelador esteja sempre provido de um dispositivo físico, que poderia ser evitado caso a captura dos gestos ocorresse de forma não intrusiva, com auxílio de uma camara de profundidade. Durante a execução do presente trabalho foi dada primazia à precisão em detrimento de uma maior liberdade de movimento. Apesar disto, é de referir que com o recente aparecimento do novo [Kinect] da Microsoft é possível uma precisão mais elevada, que pode competir com sistema utilizado.

Verificou-se que a plataforma escolhida para o desenvolvimento, o [Unity3D], apresenta algumas limitações quanto a um conjunto de funções internas quando em combinação com o uso de matrizes de projecção personalizadas. Este facto trouxe alguns problemas ao desenvolvimento do sistema.

Como exemplo, uma característica que está em falta na aplicação e que, apesar de pequena, poderia trazer alguns benefícios quanto à percepção do cenário é a inclusão de sombras. Dado que as sombras são calculadas de acordo com a matriz de projecção, estas não conseguem ser geradas com uma matriz de projecção personalizada.

Outro problema encontrado teve a ver com a utilização do objecto *Terrain* inerente ao [Unity3D]. Apesar de este dispor já de um conjunto de funcionalidades úteis inerentes a terrenos geológicos, por motivos de performance, as estruturas criadas com este objecto não eram passíveis de rotação, o que o tornou obsoleto como opção para a aplicação criada.

4. Avaliação

Foram abordados no capítulo anterior as funcionalidades do sistema apresentado neste trabalho, bem como as técnicas de interacção definidas que permitem aos utilizadores criar e manipular cenários de camadas geológicas 3D.

De modo a avaliar o sistema desenvolvido é feito um estudo comparativo da utilização das aplicações *GeoCake* (desenvolvido nesta dissertação) e da aplicação *Geollustrator* [CMR], permitindo perceber a adequabilidade das técnicas usadas para interacção em modelação 3D e funcionalidades proporcionadas para criação de modelos geológicos na nossa aplicação.

Infelizmente, os testes não contaram com a presença de geólogos, devido a alguma dificuldade encontrada na deslocação destes às instalações da faculdade (onde a avaliação foi feita), que teria sido importante para atingir resultados com um maior grau de fidelidade.

É então apresentada, nesta secção, a metodologia usada para a execução dos testes com utilizadores efectuados, as tarefas pedidas nestes, ambiente de testes e material utilizado, análise dos dados recolhidos e respectiva discussão.

4.1 Metodologia

Por forma a avaliar as várias funcionalidades presentes na aplicação, bem como o método de interacção utilizado para o multitoque e para os gestos, foram efectuadas sessões de testes com um conjunto de utilizadores. A duração dos testes prevista foi de cerca de 60 minutos, estando divididos em duas fases. Estas consistiam em testar dois protótipos diferentes, o apresentado neste trabalho e a aplicação *Geollustrator*, facultada para o efeito pelo grupo [CMR]. Cada fase foi dividida em três etapas. Na tabela seguinte (tabela 4.1) estão representadas as várias etapas que constituíam cada fase do teste e os tempos previstos para cada uma.

Etapa	Tempo (min.)
Apresentação	5
Teste da Aplicação	20
Preenchimento do Questionário	5

Tabela 4.1-Tabela de tempos previstos para a sessão de testes.

A aplicação *Geollustrator* foi utilizada, em conjunto com a nossa, a fim de poder fazer uma comparação entre as funcionalidades e interacção de ambas. Apesar de as duas serem baseadas em esboços, as aplicações possuem métodos de interacção distintos. Enquanto a aplicação *GeoCake* possui uma interacção multitoque e baseada em gestos 3D o utilizador interage com o *Geollustrator* recorrendo ao rato e teclado. Para além do método de interacção, também a metáfora usada para o esboço das curvas e o algoritmo de ajuste de superfícies é diferente, nomeadamente o *Geollustrator* permite apenas a edição através do esboço de curvas nas faces do cubo utilizado como *proxy*.

Assim, é interessante comparar as utilizações de ambas as aplicações em termos de eficiência e eficácia na modelação e exploração 3D.

Antes do início do teste foi sorteado qual das aplicações devia ser testada em primeiro pelo utilizador, tentando que o número de utilizadores para cada ordem de teste fosse o mais equilibrado possível, por forma a impedir que esta influenciasse ou enviesasse os resultados e, assim, garantir a validade destes.

1. Apresentação

No início de cada fase foi feita uma apresentação da aplicação em causa e explicado como esta funcionava, revelando e demonstrando todas as funcionalidades. Mais especificamente foi explicada a interface e as funções dos botões e demonstrado como interagir com a aplicação, como criar superfícies e modelos geológicos simples.

2. Teste das Aplicações

O teste das aplicações pretende averiguar se o sistema apresentado neste trabalho trás, ou não, vantagens na criação de modelos de camadas geológicos relativamente aos sistemas convencionais de modelação e ilustração (ex. *GeoIllustrator*), focando na forma de interacção e nas funcionalidades de modelação disponibilizadas.

i. Habituação à aplicação

Após a apresentação e demonstração das funcionalidades da aplicação (1), foi dado aos utilizadores cinco minutos para experimentarem por eles próprios o protótipo disponibilizado de modo a ganharem alguma sensibilidade na interacção com a mesma.

ii. Execução da tarefa

Depois do tempo de habituação à aplicação, foram dadas aos utilizadores três tarefas que deveriam desempenhar. A descrição das tarefas incumbidas está detalhada na próxima secção (secção 4.2).

3. Preenchimento do questionário

Por fim, foi pedido aos utilizadores que preenchessem um questionário sobre a aplicação e as tarefas desempenhadas, de modo a classificar o nível de dificuldade sentido no desempenho das tarefas e no uso das diferentes funcionalidades disponibilizadas.

4.2 Tarefas

A fim de avaliar a aplicação desenvolvida, foi pedido aos utilizadores que desempenhassem um conjunto de três tarefas sobre os protótipos dos dois sistemas referidos (*GeoCake* e *GeoIllustrator*).

Duas das tarefas consistiam em esboçar modelos previamente criados (figuras 4.1 e 4.3, tarefas 1 e 3 respectivamente) com a aplicação GeoCake, e que o utilizador deveria tentar reproduzir o mais fielmente possível. A terceira (no testes designada por tarefa 2 – figura 4.2) também era baseada num esboço criado previamente, mas neste caso, apenas com a intenção de levar o utilizador a reproduzir um modelo com as mesmas características sem que fosse de todo relevante a sua semelhança, pois o principal objectivo consistia em avaliar a capacidade das aplicações em adicionar detalhes aos modelos.

Foi permitido aos utilizadores que utilizassem qualquer das ferramentas disponibilizadas para o sistema, não lhe sendo restrito qualquer tipo funcionalidade.

As tarefas, bem como os desafios que lhe são estão associadas são apresentados de seguida:

Tarefa 1:

A primeira tarefa tinha como objectivo levar o utilizador a modelar uma estrutura geológica como a vemos, por exemplo, numa paisagem fluvial. Assim, era pedido aos utilizadores que criassem uma superfície simples, com pouco detalhe, com um sulco no meio, a atravessar a superfície, representando um rio. O segundo passo passava por elevar a altura do nível de água, de modo a preencher esse sulco.

Optou-se por começar com uma tarefa mais simples, com apenas uma camada estratigráfica, sem detalhes e com água. Para desempenhar a tarefa na aplicação por nós desenvolvida, o utilizador poderia dar uso ao ajuste de superfícies sobre um conjunto de curvas esboçadas, mas também utilizar a talocha (desempenadeira) de modo a acrescentar todo o relevo à mão. Por fim seria apenas necessário recorrer à barra de ajuste das alturas das camadas por forma a subir o nível da água.

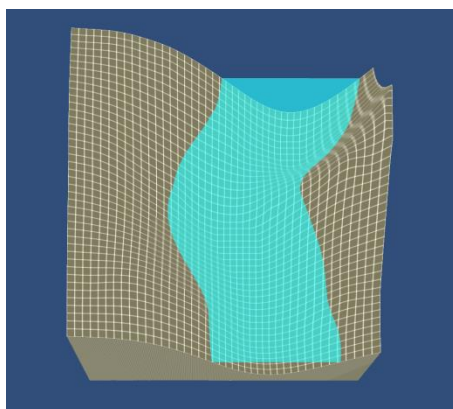


Figura 4.1- Modelo a seguir na Tarefa 1.

Tarefa 2:

A segunda tarefa tinha como grande foco explorar o potencial da aplicação para adição e ajuste de detalhes nos modelos. Assim, foi mostrado aos utilizadores um modelo que apresentava um conjunto de relevos mais finos, podendo representar cadeias de montanhas, e foi-lhes pedido que criassem um cenário com as mesmas características, mas não necessariamente igual. O modelo possuía duas

camadas estratigráficas, com a camada inferior relativamente plana, sobressaindo então da camada superior uma série de relevos.

É de referir que, ao contrário do cenário da primeira tarefa, este não representa uma paisagem típica tal como estamos habituados a ver. O grande foco nesta é sem dúvida testar a capacidade de modelar detalhes por parte da aplicação.

Na nossa aplicação, para além da modelação da superfície recorrendo às ferramentas enumeradas na primeira tarefa, por forma a desempenhar esta tarefa, o utilizador deverá fazer uso da edição multitoque e do esboço de curvas de pontos para o ajuste local do mapa de alturas. A barra de ajuste de alturas das camadas pode também ser considerada útil nesta tarefa.

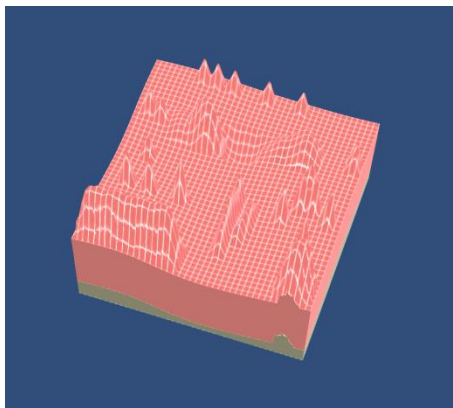


Figura 4.2 - Modelo a seguir na Tarefa 2.

Tarefa 3:

Por fim, na terceira tarefa era pedido aos utilizadores que reproduzissem um cenário com três camadas estratigráficas semelhantes entre si. O cenário formava aquilo que pode ser considerado um monte e estava rodeada por água nas laterais. O modelo apresentado aos utilizadores apresentava-se também cortado em forma de 'fatia', com a face lateral voltada para o utilizador, revelando apenas uma parte do cenário completo.

Esta tarefa tinha como principal objectivo avaliar a capacidade de construir de forma simples e rápida um cenário com várias camadas estratigráficas que se assemelham, como é natural encontrar na crosta terrestre, bem como a exploração dos modelos com base nas transformações geométricas e definição dos planos de corte.

Apesar de ser possível a definição das superfícies camada a camada, a forma mais simples de modelar o cenário seria utilizar a particularidade do GeoCake em criar sempre uma camada com as características da que lhe precede. Deste modo, definindo apenas uma camada, recorrendo à barra de ajuste das alturas das camadas, seria possível criar todo o cenário. Por fim, seria necessário recorrer ao multitoque para transformar geometricamente o modelo e definir os seus planos de corte.

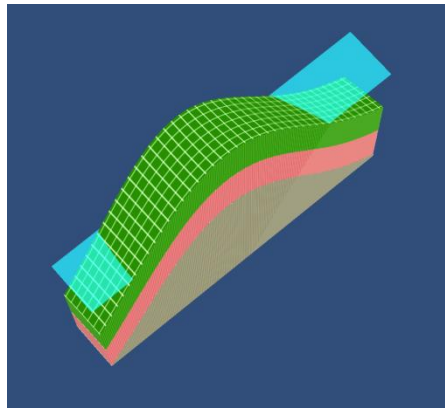


Figura 4.3 - Modelo a seguir na Tarefa 3.

Ao contrário do *GeoCake*, o modo de edição dos modelos no protótipo do *Geollustrator* e, portanto, da execução dos testes neste, decorre sempre da mesma forma, definindo as posições dos planos de corte da *proxy*, em que o cenário está contido, e esboçando as curvas de pontos neles. A tabela 4.2 apresenta as características gerais das tarefas.

	Número de Camadas	Existência de Água	Existência de Detalhes	Tempo Previsto (s) - <i>GeoCake</i>	Tempo Previsto (s) - <i>Geollustrator</i>
Tarefa 1	1	Sim	Não	100	100
Tarefa 2	2	Não	Sim	200	300
Tarefa 3	3	Sim	Não	150	200

Tabela 4.2- Características gerais das tarefas de avaliação.

4.3 Sessões de Testes

De modo a avaliar a aplicação desenvolvida no decorrer desta dissertação, foi elaborado um estudo em ambiente controlado, que seguiu a metodologia descrita no sentido de desempenhar as tarefas apresentadas na secção anterior. Os testes decorreram recorrendo a uma mesa multitoque com ecrã 3D (figura 3.3-c) com as dimensões de 70x122 cm, uma câmara de profundidade *Microsoft [Kinect]* (figura 3.3-b), um conjunto de camaras e projectores infravermelhos [*OptiTrack*] (figura 3.3-a), um par de óculos estereoscópicos activos de obturador (figura 3.3-c) e um dispositivo de edição dotado de marcadores ópticos (figura 3.3-d).

Todo este *setup* foi já explorado na secção da arquitectura (secção 3.2) e pode ser visto na figura 3.3.

Nas sessões de testes estiveram presentes 15 utilizadores, com as idades compreendidas entre os 22 e os 47 anos. Todos os utilizadores tinham no mínimo uma licenciatura como grau académico. Apenas um não possuía um dispositivo multitoque (*Tablet*, *Smartphone*, etc.) e 80% interage com um dispositivo multitoque várias vezes por dia. Todos já utilizaram um dispositivo de visualização 3D, como óculos 3D, e 87% já utilizaram dispositivos de interacção espacial como o *Microsoft [Kinect]*. Por fim, a mão dominante de quase todos os utilizadores (13) era a direita e, numa escala de 1 a 4,

os utilizadores classificaram a sua experiência em modelação com uma média de 2.47 (1-experiencia básica, 4-experiencia profissional).

As sessões de teste foram individuais, tendo sido cronometrados os tempos que os utilizadores demoravam a desempenharem cada uma das tarefas. Foram ainda anotadas todas as observações feitas pelos mesmos durante e depois dos testes e guardados os modelos resultantes de cada uma das tarefas. Na figura 4.3 pode ser visto um utilizador a interagir com o sistema durante a execução de uma tarefa.

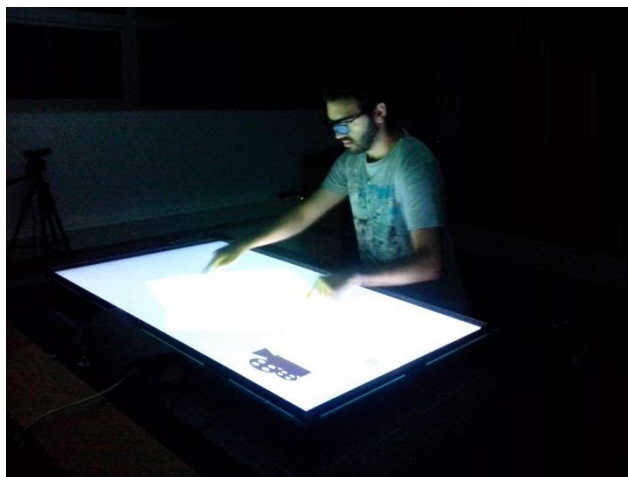


Tabela 4.3 - Interação de um utilizador com *GeoCake*.

4.4 Análise e Discussão dos Resultados

Após a execução das tarefas dadas aos utilizadores, foi-lhes pedido que preenchessem um questionário onde deveriam classificar as aplicações testadas quanto à sua interface gráfica, ao nível de dificuldade da interacção e quanto aos resultados devolvidos por elas. A nossa aplicação (*GeoCake*) teve um questionário ligeiramente maior, onde eram feitas perguntas sobre funcionalidades presentes nesta que não existiam na outra aplicação usada para os testes (*GeoIllustrator*). A classificação foi feita numa escala de 1 a 4, onde 4 era bom e 1 era mau.

Os tempos de ambas as aplicações, bem como as respostas dos questionários foram então analisados e comparados, sendo apresentados de seguida.

4.4.1 Tempos de conclusão

Para cada tarefa foi avaliado o tempo demorado por cada utilizador até à sua compleição. Foram obtidos assim, ao todo, 90 tempos. Olhando para os resultados, ficou a indicação de que a aplicação *GeoCake* permitiu executar os tempos mais rapidamente que a aplicação *GeoIllustrator*. O altos valores verificados nos desvios padrão estão relacionados com a presença de um ou outro *outlier* que fugiu à regra. As figuras 4.4 e 4.5 apresentam os gráficos com as médias e desvios padrão dos tempos de cada tarefa.

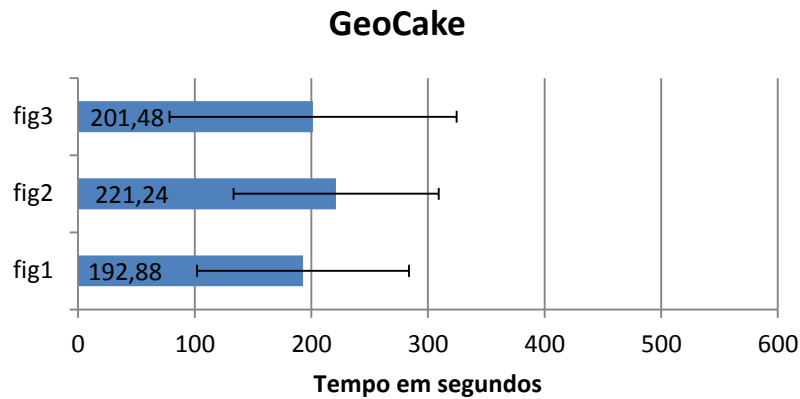


Figura 4.4 - Gráfico da média e desvio padrão dos tempos levados em cada tarefa – Geocake.

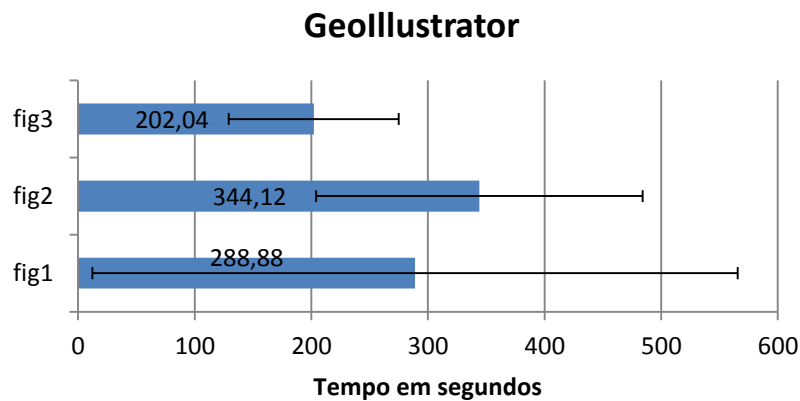


Figura 4.5 - Gráfico da média e desvio padrão dos tempos levados em cada tarefa - Geollustrator.

De modo a poder comprovar esta ideia, foi feita uma análise estatística aos dados. Em primeiro lugar, foi feito um teste *Shapiro Wilk* que mostrou evidências contra uma distribuição normal em algumas das tarefas. Tanto na tarefa 3 executada com o *GeoCake* como na tarefa 1 executada com o *Geollustrator* os valores p são inferiores a 0.05 ($0.01 < p < 0.02$ e $p < 0.01$ respectivamente). Dada a evidência contra a normalidade, optou-se por um teste não paramétrico. Assim, como foram usados os mesmos utilizadores para testar ambas aplicações a comparar, foi aplicado aos dados um *Wilcoxon signed-rank test*. Os resultados podem ser observados na seguinte tabela (tabela 4.4), onde estes são classificados como NS (Not significant) e SIG (Significant).

	Figura 1	Figura 2	Figura 3
Test statistic W	53,5	17	43,5
Critical value (N=15; $p < 0.05$)	25	25	25
Conclusion:	NS	SIG	NS

Tabela 4.4 - Resultado do Wilcoxon signed-rank test sobre os tempos dos testes.

A partir destes resultados, podemos concluir que a aplicação *GeoCake* tem resultados significativamente melhores na tarefa 2 ($17 < 25$), concluindo-se que esta é bastante melhor a nível de desempenho temporal em tarefas mais complexas.

4.4.2 *GeoCake* vs *Geollustrator*

De modo a ter uma noção melhor das qualidades e problemas da aplicação *GeoCake* foi então feita uma comparação entre os resultados obtidos com esta e com a aplicação *Geollustrator* que, não obstante possuir um meio de interação e alguns métodos de edição diferentes, é um sistema de modelação geológica baseada em esboços com os objectivos semelhantes aos nossos, de oferecer uma forma rápida e simples de exprimir cenários geológicos, sendo portanto uma boa referencia de comparação.

Ao nível da interface gráfica, foi questionado aos utilizadores sobre a quantidade de botões nas interfaces, a sua disposição e se a sua função era explícita. Pôde verificar-se que a quantidade de botões na aplicação *Geollustrator* era ligeiramente superior à do *GeoCake*. Os utilizadores classificaram a disposição dos botões no *GeoCake* mais coerente do que no *Geollustrator* – médias de 3,33 contra 3,27. Além disso, consideraram ainda que as funções dos botões eram mais simples de perceber na aplicação *GeoCake* – média de 3,13 contra 2,67. Na verdade, esta foi a maior critica apontada pelos utilizadores á aplicação *Geollustrator*, não sendo óbvio, em alguns casos, o que determinado botão fazia. Apesar disto, foi sugerido que a nossa aplicação também acrescentasse uma representação gráfica, a todos os seus botões, referente á sua função, de modo a melhorar o seu reconhecimento.

Na exploração dos cenários criados, foi pedido aos utilizadores que classificassem os sistemas quanto às transformações geométricas sobre os modelos. Nas transformações de translação e escala a aplicação *GeoCake*, com a interação multitoque, foi considerada mais simples. No entanto a aplicação de rotações sobre o modelo foi considerada um pouco mais fácil na aplicação *Geollustrator*. Quanto à manipulação dos planos de corte, os utilizadores acharam o seu ajuste bastante mais simples no *GeoCake*. Isto deve-se, provavelmente, ao facto de em *Geollustrator* ser necessário rodar o cenário de cada vez que se quer manipular um plano de corte que não o correspondente à face da *proxy* virada para o utilizador.

De uma forma geral, a exploração dos cenários no nosso sistema foi considerada mais fácil do que na aplicação *Geollustrator* (figura 4.6). É de referir que a crescente utilização de dispositivos multitoque e, assim, a habituação a este tipo de manipulação de dados, contribui para este resultado.

Facilidade Geral na Exploração dos Modelos

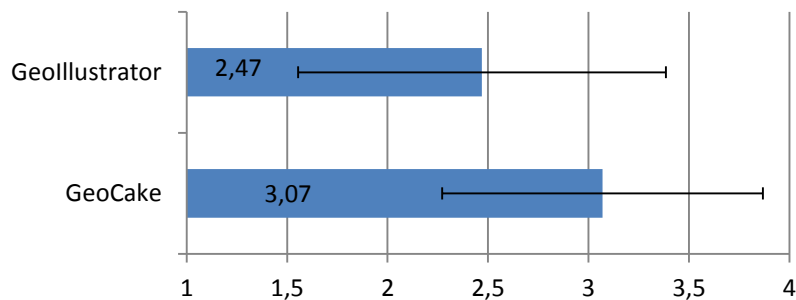


Figura 4.6- Nível de facilidade na exploração dos cenários.

A edição dos modelos foi tida como factor principal na comparação das duas aplicações. Deste modo, o questionário focou funcionalidades como a adição de detalhes a um modelo, a criação de curvas de pontos para o ajuste de superfícies, o algoritmo de ajuste destas e os modelos como resultado final de cada uma das tarefas.

Para alguma surpresa, verificou-se que a adição de detalhes, ou seja, o ajuste local das superfícies não teve o resultado esperado no protótipo testado de *Geollustrator*. Como podemos ver no gráfico seguinte (figura 4.7), a edição local do terreno teve bastante melhores resultados na nossa aplicação. Dentro do *GeoCake* a adição de detalhe via multitoque foi sem dúvida a preferida dos utilizadores.

Facilidade na Adição de Detalhes

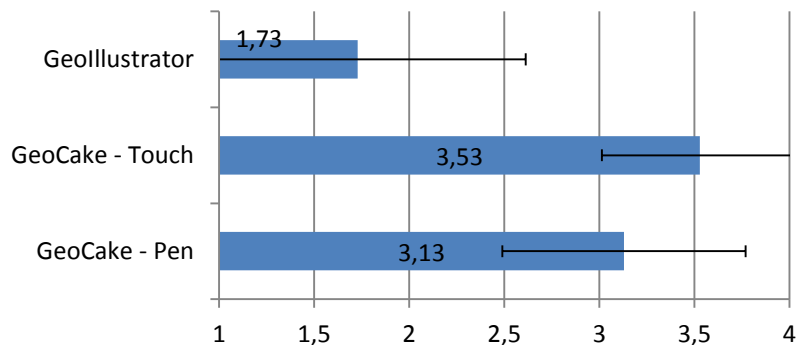


Figura 4.7 - Nível de facilidade na adição de detalhes aos modelos.

A criação de curvas de pontos foi considerada ligeiramente mais fácil no *GeoCake* através do uso da caneta (médias de 2,87 contra 2,47), pois não restringia o utilizador aos esboços nos planos de corte (faces da *proxy*) como era o caso do *Geollustrator* (que utiliza o rato), este tinha ainda a desvantagem de criar alguns problemas caso a mesma curva cobrisse dois planos de corte, algo que pode facilmente acontecer quando uma curva se aproxima da fronteira entre dois planos. O principal problema apontado ao *GeoCake*, neste caso, era que algumas vezes se poderia tornar complicada a localização dos pontos criados no espaço.

O algoritmo de ajuste de superfícies (*surface fitting*) utilizado para criação das camadas com base nas curvas esboçadas teve um resultado mais imprevisível na aplicação *Geollustrator*. Este, mais complexo do que o utilizado na nossa aplicação, suportava uma variedade maior de tipos de estruturas geológicas, mas tinha como grande desvantagem o ajuste a curvas que apresentassem detalhes um pouco mais finos, devolvendo resultados que não eram de todo os esperados. Na figura 4.8 podemos observar os resultados dos questionários quanto a esta questão.

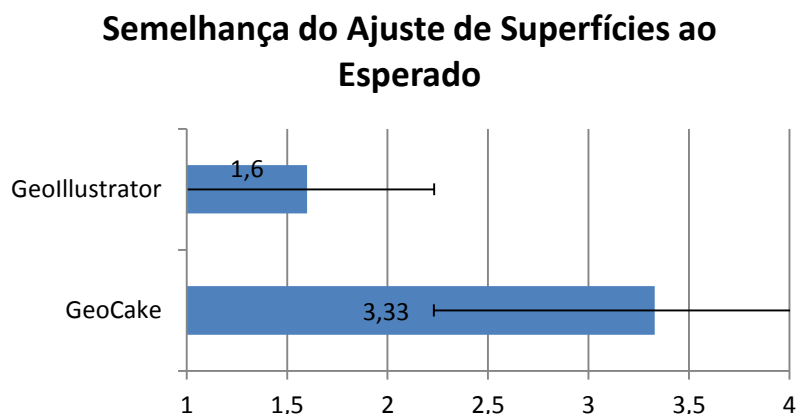


Figura 4.8 - Nível de satisfação pelo algoritmo de ajuste de superfícies.

Quando confrontados com os resultados às tarefas pedidas e, se estes, tinham obtido resultados semelhantes aos pretendidos, os utilizadores consideraram que a aplicação *Geollustrator* proporcionou melhores resultados para a primeira tarefa enquanto o *GeoCake* teve os melhores resultados para a segunda e terceira tarefas (figura 4.9). Estes resultados na segunda tarefa explicam-se com o facto de esta obrigar os utilizadores a acrescentar detalhes ao modelo. A aplicação *GeoCake* também trás vantagem na terceira tarefa pois, dado que as varias camadas são semelhantes entre si, esta permite que o utilizador duplique a camada inferior quando adiciona uma nova.

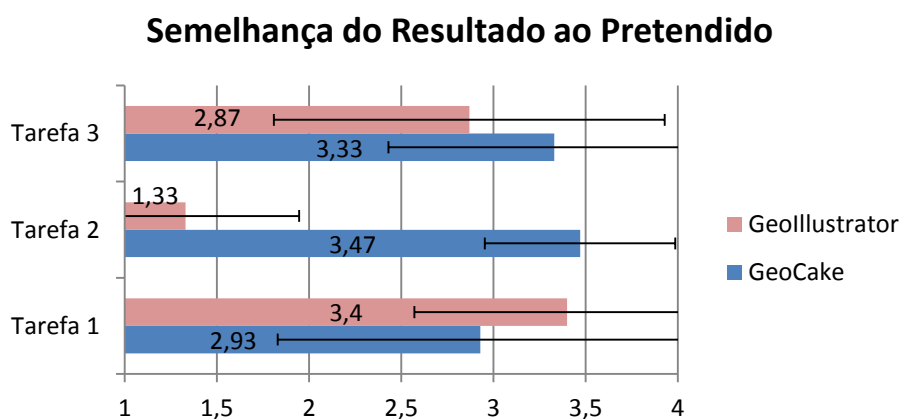


Figura 4.9 - Nível de satisfação pelo resultado final das tarefas.

Por fim, questionados quando ao nível de dificuldade geral do uso do sistema, os utilizadores deram preferência ao *GeoCake* (figura 4.10), mostrando que um sistema de interacção espacial trás algumas vantagens para modelação 3D, tal como a possibilidade de definir os esboços em todo o espaço, e que o algoritmo de ajuste de superfícies, bem como a adição de detalhes funcionavam dentro do esperado.

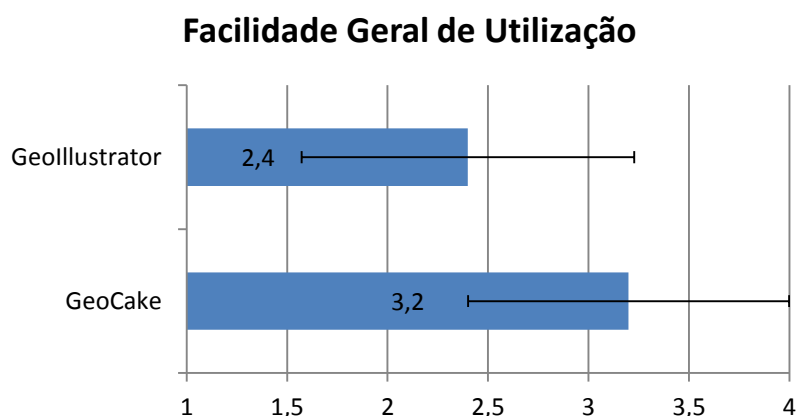


Figura 4.10 - Nível de facilidade geral de utilização das aplicações.

4.4.3 Análise das restantes funcionalidades

Para além da comparação feita na última subsecção (secção 4.4.2), foram testadas focadas nos questionários outras funcionalidades presentes no protótipo da nossa aplicação. Deste modo, tentou-se saber se a visualização estereoscópica dos modelos criados, a utilização de *widgets* como pegas para definição dos planos de corte e o aspecto dos cursores para representação virtual da caneta eram adequados.

Confrontados com a questão se a visualização estereoscópica foi útil na compreensão dos dados 3D modelado, 53% dos utilizadores respondeu que ajudou muito, perfazendo uma média de 3,47. A grande maioria (80%) considerou também que as dimensões do ecrã eram adequadas para as tarefas em causa. No entanto nem todos os utilizadores conseguiram perceber a real função do foco de luz projectado pelo dispositivo de edição virtual (média de 2,87) e alguns consideraram que o *offset* entre este e a caneta física manuseada pelos utilizadores poderia ser melhorado. É ainda de referir que 93% dos questionados acha que a utilização, e possibilidade de definição, de planos de corte auxilia muito a visualização e compreensão dos cenários criados.

Ainda neste âmbito, os planos de corte foram uma funcionalidade muito bem recebida pelos utilizadores (figura 4.11), com 73% destes a considerar a abordagem utilizada recorrendo ao *widgets* de pegas para a sua definição como muito adequada. Além disso, 100% dos utilizadores ficou muito satisfeito com a resposta destes às suas acções e 87% gostavam de ver uma extensão desta

funcionalidade com planos de corte com outras orientações. A figura 4.11 apresenta as médias das respostas a estas perguntas.

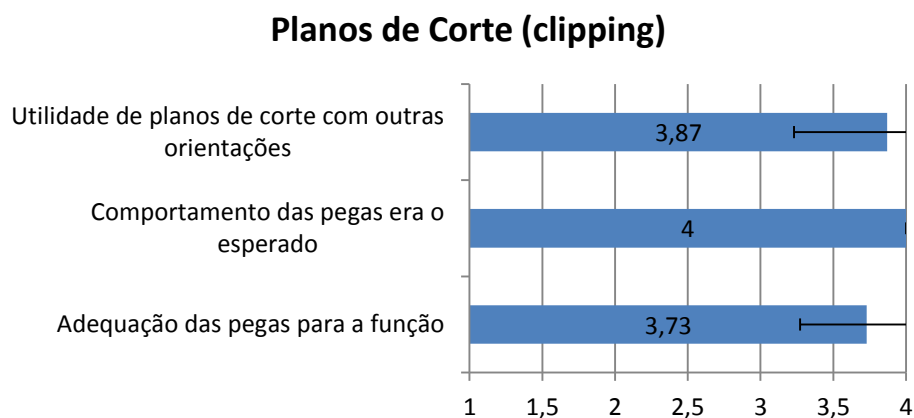


Figura 4.11 - Nível de satisfação dos utilizadores acerca dos planos de corte.

Uma das funcionalidades introduzidas que também teve um feedback muito positivo foi a barra de pré-visualização e ajuste das alturas das várias camadas no cenário, com 73% dos utilizadores a considerar muito fácil a sua utilização.

Um factor que pode merecer alguma atenção é a existência dos modos de câmara e de edição que, apesar da maioria dos utilizadores responder que conseguiu perceber com facilidade em que modo se encontrava (média de 3,26 de 4), verificou-se que muitos se esqueciam que tinham de trocar de modo antes de desempenhar tarefas que lhes eram características. Foi por exemplo comum ver um utilizador tentar transformar geometricamente o modelo criado após edição sem ter alternado para o modo de câmara (necessário para tal).

A nível da modelação 3D, 80% dos questionados considerou a abordagem usada de construção *bottom-up* (começando na camada geologicamente inferior e acabando na superior) como muito adequada.

Quanto á utilização da caneta com os marcadores para interacção com o sistema, a respostas dos utilizadores mostraram que, apesar dos resultados razoáveis, a interacção 3D é uma área que ainda pode ser um pouco melhorada no nosso sistema (figura 4.12), com o conforto no seu manuseamento a ser o factor menos positivo desta. Alguns utilizadores referiram que ao utilizar o dispositivo durante períodos de tempo mais longos poderiam sentir-se cansados.

Utilização do Dispositivo de edição (físico)

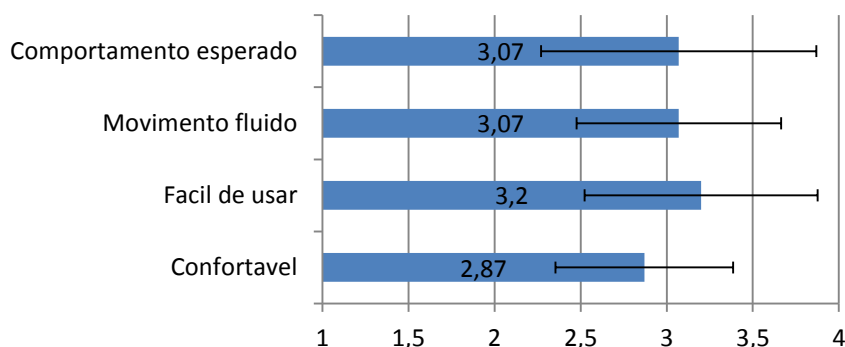


Figura 4.12 - Nível de satisfação na utilização do instrumento de interação.

O aspecto dos diferentes dispositivos virtuais (ou cursores) utilizados foi também um ponto questionado (figura 4.13). O *avatar* utilizado que menos convenceu os utilizadores foi o da caneta para o desenho de esboços, sendo o mais satisfatório o correspondente à broca para definição dos pontos de perfuração em modelos.

Aspecto Dado aos Dispositivos Virtuais

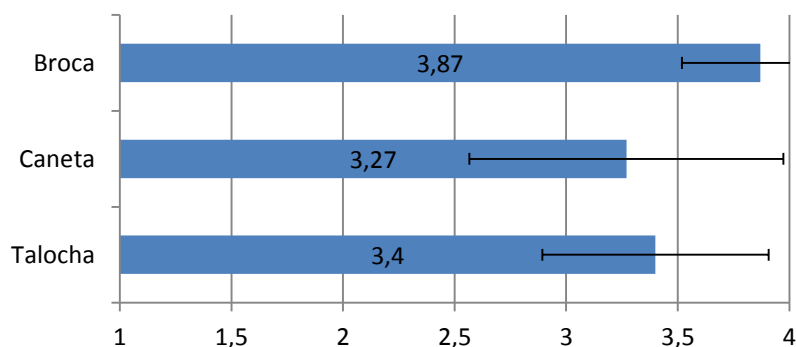


Figura 4.13 - Nível de satisfação acerca do aspecto dado aos avatares do dispositivo de edição.

Foi ainda questionada a facilidade de uso se o uso da talocha (ou desempenadeira) para adição de terreno. Apesar de uns poucos utilizadores terem demonstrado alguma dificuldade no seu manuseamento, a grande parte dos utilizadores mostrou-se satisfeita com esta funcionalidade (média de 3,2 em 4).

Foram feitas não só nos questionários, mas também durante a execução das tarefas algumas observações relevantes para a melhoria do nosso sistema. Alguns utilizadores sugeriram que na edição desempenadeira fosse possível definir a espessura do material utilizado, como se de um pincel se tratasse, esta foi também feita para a edição de detalhe multitoque. Houve ainda quem sugerisse uma fusão dos dois modos de câmara e edição, permitindo efectuar transformações sobre o modelo a qualquer altura. Esta acaba por vir em linha do problema referido anteriormente, no qual

nem todos os utilizadores se lembravam de alternar entre os modos quando necessário. Neste âmbito, foi sugerido que as rotações efectuadas sobre o cenário se mantivessem durante a edição, de modo a proporcionar uma edição mais fluida e uma melhor perspectiva sobre os dados durante a edição.

Por fim, pode-se observar que a maioria dos utilizadores tirou partido do sistema de captação da posição do utilizador referente à mesa para melhorar a sua experiência de visualização 3D.

A figura 4.14 mostra alguns modelos criados durante as sessões de testes com as aplicações *GeoCake* e *Geollustrator*.

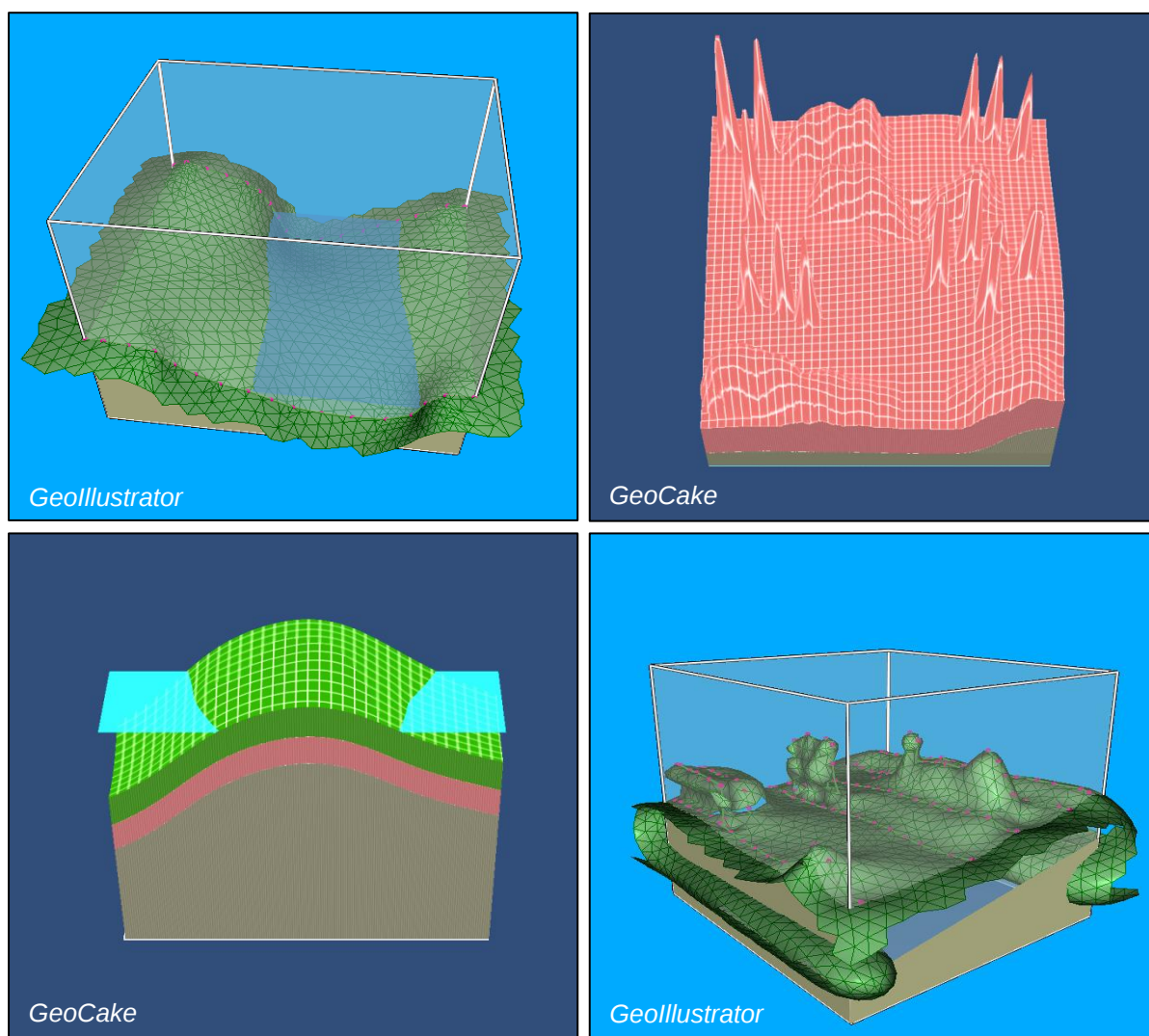


Figura 4.14 – Modelos gerados pelos utilizadores durante as sessões dos testes

5. Conclusão

Após apresentados e discutidos os resultados da avaliação experimental com os utilizadores, são abordadas neste capítulo as conclusões finais e contribuições, bem como uma reflexão sobre o trabalho futuro a desenvolver.

5.1 Sumário e Contribuições

Com o propósito de encontrar uma forma alternativa aos sistemas convencionais WIMP para criação, manipulação e visualização de cenários geológicos, foi apresentado, nesta dissertação, um sistema de modelação 3D baseado em gestos para a criação expedita de cenários geológicos de camadas.

Foram revistos alguns sistemas e trabalhos nas áreas da interacção gestual, interacção multitoque, visualização 3D e na modelação e exploração de modelos geológicos. Apesar da modelação de terrenos e subsolos ser utilizada em larga escala em áreas desde a geologia à indústria dos videojogos e da evolução tecnológica nos métodos de interacção, concluiu-se que um sistema de modelação geológica que tire partido de tecnologias interactivas inteligentes ainda foi pouco explorado. Deste modo, este trabalho averigua as vantagens de um ecrã 3D com superfície multitoque para exploração de dados e um sistema de captura de movimentos para a interacção com um sistema de modelação de camadas estratigráficas.

O sistema proposto possibilita a interacção gestual para manipulação de diferentes ferramentas de modelação, desde a edição local até ao ajuste de superfícies a curvas esboçadas. Os esboços proporcionam uma forma simples e expedita de expressar as formas pretendidas numa superfície. O multitoque é utilizado para a manipulação geométrica exploração dos modelos criados bem como a adição de detalhes mais finos. O sistema permite ainda a exportação das superfícies geradas num formato *standard* para software de modelação 3D.

Uma avaliação feita com utilizadores, onde a aplicação apresentada (*GeoCake*) foi comparada com um protótipo do *Geollustrator* (aplicação WIMP de modelação geológica baseada em esboços), mostrou que o sistema desenvolvido nesta dissertação não só alcançava tempos de modelação melhores para cenários mais complexos, como que era possível graças à interacção espacial alcançar, de forma expedita, resultados muito satisfatórios na criação cenários geológicos de camadas.

Posto isto, como principais contribuições deste trabalho destacam-se

- 1) O recurso a gestos no espaço com e sobre uma mesa multitoque para a manipulação directa do sistema e de tecnologias 3D (estéreo) na criação de cenários geológicos, constituídos por camadas estratigráficas homogéneas (*layered-cake models*).
- 2) A definição para novas linhas de investigação em interacção para o esboço deste tipo específico de modelos, desenvolvendo e explorando gestos e movimentos espaciais, acima da mesa, para manipulação directa na recriação de paisagens geológicas, proporcionando um meio de interacção natural e com grande vantagem para modeladores.

5.2 Trabalho Futuro

Como trabalho futuro considera-se importante a adição de algumas funcionalidades e correcção de algumas características da aplicação.

Funcionalidades interessantes a ter em conta seriam habilitar o modelador de poder fazer anotações sobre o modelo, criar especificamente redes fluviais e importar modelos criados anteriormente para edição, como por exemplo interligar aplicações como o [CityEngine] para efeitos de planeamento urbano. As anotações permitiriam a criação de apontamentos sobre características e definição de áreas de interesse do modelo e o carregamento de modelos já existentes daria não só a liberdade de obter modelos gerados por outros sistemas e/ou modeladores, como a possibilidade do modelador poder começar um modelo hoje e terminá-lo noutra altura que fosse do seu agrado. Ainda de referir que a criação de uma ferramenta para a geração procedimental de edifícios e/ou vegetação para a áreas como a arquitectura seria de grande valor, no extremo adaptando a aplicação para a modelação expedita de maquetes arquitectónicas.

A adição de uma ferramenta de *undo/redo* (desfazer/refazer da ultima acção) e de esboço nas faces da caixa de *proxy* é também considerado útil. O facto de o modelador poder voltar atrás nas suas decisões confere-lhe uma maior liberdade de acções e a utilização das faces para esboço dos contornos de estruturas geológicas, seguido de uma interpolação dos pontos, poderia proporcionar uma maior variedade nos cenários criados.

Para além das características referidas a extensão e melhoramento de algumas ferramentas da aplicação poderia ser de grande proveito. Como tal sugere-se a possibilidade dos planos de corte poderem ter orientação e número arbitrário e a transformação das coordenadas dos pontos de toque de acordo, não só da sua posição no plano do ecrã, mas também da matriz de projecção e, portanto, da perspectiva com que o cenário é visualizado como meio de prevenir erros de localização. Seria útil ainda que as transformações geométricas de rotação sobre o cenário se mantivessem durante a edição, de modo a facilitar a modelação. De modo a facilitar a visualização dos cenários poder-se-ia criar ainda um modo de vista explodida (*exploded view*), onde as várias camadas estariam separadas deixando o utilizador observar melhor todos os seus detalhes. As ferramentas de edição com a talocha e o multitoque poderão dar ao utilizador a possibilidade de definir a espessura do material a adicionar, permitindo uma modelação mais detalhada. Uma extensão importante seria ainda a possibilidade do modelador ajustar e/ou apagar determinados pontos das curvas esboçadas, de modo a garantir um grau de detalhe e polimento superior.

O próprio modo de interagir gestualmente no espaço, como potencial definição para novas linhas de investigação na área da modelação geológica, pode sofrer de algumas afinações, maximizando a fluidez e a qualidade dos resultados e minimizando ao máximo a complexidade na interacção. Mesmo o modelo bimanual utilizado [Guiard 1987] pode ser estendido, de modo a que cada utilizador possa optar por qual a sua mão dominante.

O próprio sistema pode também sofrer de alterações. Como já falado em secções anteriores, como forma de diminuir o número de botões presentes na GUI a fim de se criar uma interface mais limpa

(implicando com isso menor controlo indirecto) pode ser acoplado um pequeno botão ou conjunto de botões à mão do modelador, por exemplo em forma de anel que desempenhasse funções como activar/desactivar a edição ou escolher o dispositivo virtual a utilizar. Os modos de edição e câmara poderiam ser fundidos por forma a evitar erros e tornar a interacção mais fluida. A captação de gestos poderia também passar por um [*Kinect*] de ultima geração tornando obsoleta a necessidade de utilizar um instrumento de edição físico como a caneta, sem perder a precisão a ela inerente. Como extremo, de modo a dar um tipo de exploração de dados completamente diferente e realista ao modelador poderia mesmo considerar-se a utilização de uma luva ou dedal háptico que forneça ao utilizador o tipo de feedback do cenário que seria esperado de um modelo físico.

Não pode ainda ser esquecida a substituição da representação de dados utilizada de momento, mapas de alturas, por outra mais complexa e versátil pode fornecer um conjunto de novas possibilidades quanto a estruturas geológicas, como a modelação de falhas e dobras.

Por fim, é muito importante validar os resultados dos testes utilizados e outros a realizar no futuro com geólogos, de modo a permitir uma maior compreensão das necessidades destes e perceber onde e com o quê que a aplicação pode ser melhorada.

6. Referências

- Agrawala M., Beers A. C., Frohlich B., Hanrahan P., McDowall I., Bolas M., 1997. The Two-User Responsive Workbench: Support for Collaboration Through Individual Views of a Shared Space. Proceedings of the 24th annual conference on Computer graphics and interactive techniques '97 (SIGGRAPH), 327-332.
- 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.
- Amorim R., Brazil E. V., Samavati F., Sousa M. C., 2014. 3D Geological Modeling using Sketches and Annotations from Geologic Maps. Proceedings of the 4th Joint Symposium on Computational Aesthetics, Non-Photorealistic Animation and Rendering, and Sketch-Based Interfaces and Modeling (SBIM) '14, 17-25.
- Araújo B. R., Casiez G., Jorge J. A., Hachet M., 2013. Mockup builder: 3D Modelling On and Above the Surface. Computers & Graphics, 37(3):165 – 178.
- Bærentzen J.A., Gravesen J., Anton F., Aanæs H., 2012. Guide to Computational Geometry Processing, Springer-Verlag London.
- Bayyari A., Tudoreanu M. E., 2006. The Impact of Immersive Virtual Reality Displays on the Understanding of Data Visualization. Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology '06 (VRST), 368-371.
- Bendiksen M., 2013. Rapid Modeling of Geology, Msc Thesis, University of Bergen.
- Bolt R. A., 1980. "Put-that-there": Voice and gesture at the graphics interface. Proceedings of the 7th annual conference on Computer graphics and interactive techniques '80 (SIGGRAPH), 262-270.
- Coffin C., Höllerer T., 2006. Interactive Perspective Cut-away Views for General 3D Scenes. Proceedings of the IEEE conference on Virtual Reality '06, 25 - 28.
- Cohé A., Décle F., and Hachet M., 2011. tBox: a 3D transformation widget designed for touch-screens. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems '09, 3005–3008.

Cruz-Neira C., Sandin D. J., DeFanti T. A., 1993. Surround-screen projection-based virtual reality: the design and implementation of the CAVE. Proceedings of the 20th annual conference on Computer graphics and interactive techniques '93 (SIGGRAPH), 135-142.

Ebert D. S., Shaw C. D., Zwa A., Starr C., 1996. Two-handed Interactive Stereoscopic Visualization. Proceedings of the 7th conference on Visualization '96 (VIS), 205-210.

Elmqvist N., Tsigas P., 2008. A Taxonomy of 3D Occlusion Management for Visualization. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics '08, 14, 5, 1095 – 1109.

Elmqvist N., Tudoreanu M. E., 2007. Occlusion management in immersive and desktop 3d virtual environments: Theory and evaluation, International Journal of Virtual Reality, 6, 21–32.

Gain J, Marais P., Straßer W., 2009. Terrain sketching. Proceedings of the 2009 symposium on Interactive 3D graphics and games, 31-38.

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.

Gallo L., Placitelli A. P., Ciampi M., 2011. Controller-free exploration of medical image data: experiencing the Kinect. Proceedings of the 2011 24th International Symposium on Computer-Based Medical Systems '11, 1-6.

Grossman T., Wigdor D., 2007. Going Deeper: A Taxonomy of 3D on the Tabletop. Second Annual IEEE International Workshop on Horizontal Interactive Human-Computer Systems '07, 137-144.

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.

Hancock M., Carpendale S., 2007. Supporting Multiple Off-Axis Viewpoints at a Tabletop Display. Horizontal Interactive Human-Computer Systems '07, 171-178.

Hancock M., Nacenta M., Gutwin C., Carpendale S., 2009. The Effects of Changing Projection Geometry on the Interpretation of 3D Orientation on Tabletops. Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces '09 (ITS), 157-164.

Hancock M., ten Cate T., Carpendale S., 2009. Sticky Tools: Full 6DOF Force-Based Interaction for Multi-touch Tables. Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces '09 (ITS), 133–140.

Hancock M., Carpendale S., Cockburn A., 2007. Shallow-Depth 3D Interaction: Design and Evaluation of One-, Two- and Three-Touch Techniques. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems '07*, 1147-1156.

Hancock M.S., Vernier F.D., Wigdor D., Carpendale S., Shen C., 2006. Rotation and Translation Mechanisms for Tabletop Interaction. *First IEEE International Workshop on Horizontal Interactive Human-Computer Systems '06 (TableTop)*, 79-88.

Hansen T. E., Hourcade J. P., 2010. Comparing Multi-Touch Tabletops and Multi-Mouse Single-Display Groupware Setups. *Proceedings of the 3rd Mexican Workshop on Human Computer Interaction '10*, 36-43.

Hilliges O., Kim D., Izadi S. Weiss M., Wilson A., 2012. HoloDesk: direct 3d interactions with a situated see-through display. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems '12*, 2421-2430.

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., 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.

Kooima R., 2008. Generalized Perspective Projection. Technical report. Louisiana State University.

Leithinger D., Ishii H., 2010. Relief: A Scalable Actuated Shape Display. *Proceedings of the fourth international conference on Tangible, embedded, and embodied interaction '10*, 221-222.

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., Viola I., 2013B. Geological storytelling. *Computers & Graphics* 37, 5, 445–459.

Lidal E. M., Patel D., Bendiksen M., Langeland T., Viola I., 2013A. Rapid Sketch-based 3D Modeling of Geology. *Workshop on Visualisation in Environmental Sciences (EnvirVis) '13*, 31-35.

Lindemann P., 2010. A Short Report on Multi-touch User Interfaces, Dept. of Media Informatics, University of Munich, Germany.

Nacenta M. A., Baudisch P., Benko H. and Wilson A., 2009. Separability of spatial manipulations in multi-touch interfaces. Proceedings of Graphics Interface '09, 175–182.

Natali, M., Klausen, T.G., Patel, D., 2014B, Sketch-based modelling and visualization of geological deposition, Computers & Geosciences, 67, 40–48.

Natali M., Lidal E. M., Parulek J., Viola I., Patel D., 2013. Modeling Terrains and Subsurface Geology. Proceedings of EuroGraphics 2013 State of the Art Reports (STARs), 155–173.

Natali, M., Parulek, J., Patel, D., 2014A, Rapid modelling of interactive geological Illustrations with faults and compaction, Proceedings of Spring Conference on Computer Graphics (SCCG) '14, 5-12.

Natali M., Viola I., Patel D., 2012. Rapid Visualization of Geological Concepts. In Proceedings of the 25th SIBGRAPI Conference on Graphics, Patterns and Images (SIBGRAPI) '12, 150–157.

Olsen J., 2004. Realtime procedural terrain generation. Technical report, Department of Mathematics And Computer Science, (IMADA) University of Southern Denmark.

Peytavie A., Galin E., Merillou S., Grosjean J., 2009. Procedural Generation of Rock Piles Using Aperiodic Tiling. Proceedings of Computer Graphics Forum '09, 1801-1809.

Piper B., Ratti C. Ishii H., 2002. Illuminating Clay: A 3-D Tangible Interface for Landscape Analysis. Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems '02, 355-362.

Reisman J. L., Davidson P.L. and Han J. Y., 2009. A screen-space formulation for 2d and 3d direct manipulation. Proceedings of the 22nd annual ACM symposium on User interface software and technology '09 (UIST '09), 69–78.

Rico J., Brewster S., 2010. Usable Gestures for Mobile Interfaces: Evaluating Social Acceptability. Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems '10, 887-896.

Rubine D., 1991. Specifying Gestures by Example. Proceedings of the 18th annual conference on Computer graphics and interactive techniques '91 (SIGGRAPH), 329-337.

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.

Tang J. K. T., Chan J. C. P., Leung H., 2011. Interactive Dancing Game with Real-time Recognition of Continuous Dance Moves from 3D Human Motion Capture. Proceedings of the 5th International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication '11, 50.

Toney A., Thomas B.H., 2006. Considering reach in tangible and table top design. First IEEE International Workshop on Horizontal Interactive Human-Computer Systems, '06 (Table-Top), 5-7.

Turner K., 2006. Challenges and trends for geological modelling and visualisation. Bulletin of Engineering Geology and the Environment 65, 2, 109–127.

Wang R., Paris S., Popović J., 2011. 6d hands: markerless hand-tracking for computer aided design. Proceedings of the 24th annual ACM symposium on User interface software and technology '11 (UIST), 549–558.

Wellner P., 1991 - The digitaldesk calculator: tangible manipulation on a desk top display. In Proceedings of the 4th annual ACM symposium on User interface software and technology '91 (UIST), 27–33.

Referências Online

3D GeoModeller - www.geomodeller.com.

3D Max - www.autodesk.com/products/3ds-max/overview

AutoDesk - www.autodesk.com/.

CityEngine - www.esri.com/software/cityengine.

CMR and GeoIllustrator - www.cmr.no/cmr_computing/index.cfm?id=313109

Data Glove - <http://www.vrealities.com/products/data-gloves>.

EarthVision - www.dgi.com/earthvision/evmain.html.

GoCAD - www.pdgm.com/products/gocad/.

Infrared Grid -

solutions.3m.com/wps/portal/3M/en_US/TouchTopics/Home/Technologies/Commercial/Infrared

Kinect - www.xbox.com/pt-pt/kinect/.

Leap Motion - www.leapmotion.com.

Nintendo Wii Remote - www.nintendo.com/wiiu/accessories.

Nvidia 3D Vision - www.nvidia.com/object/3d-vision-main.html.

Oculus Rift - www.oculus.com/.

Optitrack - www.naturalpoint.com/optitrack/.

Petrel – <http://www.software.slb.com/products/platform/pages/petrel-geology-modeling-software.aspx>.

Quick Terrain Modeler - www.idaholidar.org/tools/quick-terrain-modeler.

SketchUp – www.sketchup.com/

TUIO - <http://www.tuio.org/>.

UDK – www.unrealengine.com/products/udk/

Unity3D – unity3d.com/

World Machine – www.world-machine.com/.

Zaag Tech – www.zaagtech.com

Apêndice A

Manual do Utilizador

1- Preparar o Sistema

1.1 - Definir Corpos Rígidos

No sistema em causa, pode ser definido um corpo rígido como o conjunto dos marcadores ópticos que estão associados a um objecto de interacção com a aplicação.

Para funcionar de forma correcta, o sistema precisa de obter informação sobre dois corpos rígidos. O primeiro define o dispositivo de interacção físico (ou caneta) que o modelador utiliza para transmitir os seus gestos à aplicação e, deste modo, editar os modelos. O segundo corpo é utilizado para definir a origem da mesa no espaço físico. Esta informação é importante para as transformações de coordenadas.

A fim de criar os corpos rígidos no sistema, o utilizador deve:

- Iniciar o servidor associado ao *tracker* (i.e. às câmaras *optitrack*);
- Executar o programa *GeoCakeTracker.exe*;
- Seleccionar o conjunto dos marcadores, presentes no espaço detectado, correspondentes ao dispositivo de edição (é necessário que este se encontre na horizontal virado de frente para a mesa multitoque);
- Clicar no botão direito do rato e seleccionar a opção '*create Rigid Body*';
- Seleccionar o conjunto dos marcadores, presentes no espaço detectado, correspondentes ao objecto que define a origem;
- Clicar no botão direito do rato e seleccionar a opção '*create Rigid Body*'.

Nota: a selecção e criação dos corpos devem seguir a ordem apresentada: primeiro criar o corpo rígido referente à caneta, depois criar corpo rígido referente à origem da mesa.

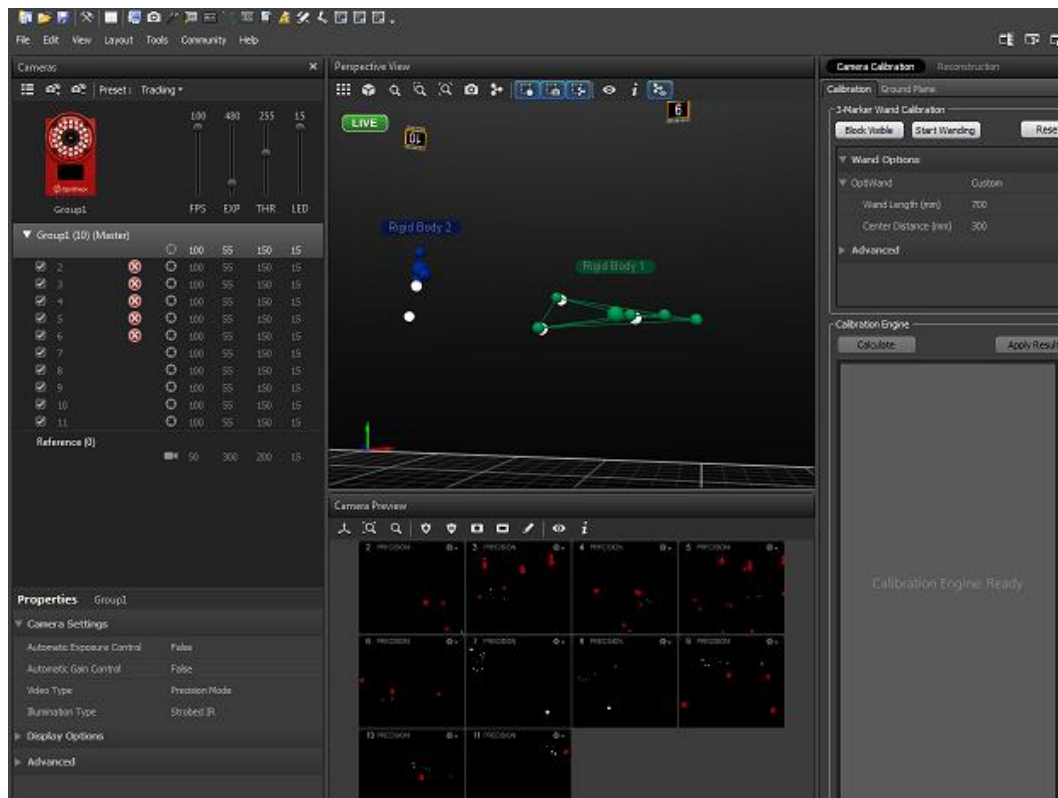


Figura 0.1 - Sistema de tracking

1.2 - Definir localização, orientação e dimensões do ecrã no espaço

De modo a funcionar correctamente, o sistema necessita de obter informação sobre a localização, orientação e as dimensões da mesa no espaço, em particular de modo a calcular correctamente a matriz de projecção personalizada ao modelador.

Esta informação pode ser obtida com auxílio da câmara *Kinect* presente em frente da mesa. Para tal, o utilizador deve:

- Iniciar a máquina pertencente à mesa multitoque (caso ainda não o esteja);
- Na pasta da aplicação, entrar no projecto *KinectRectangleMS*, e correr a aplicação *KinectRectangleMS.exe*;
- Colocar uma folha branca encostada a cada um dos cantos inferiores do ecrã multitoque e outra no meio;
- Na janela onde se pode observar a imagem proveniente do *Kinect*, clicar nos cantos inferiores do ecrã da mesa multitoque com o rato e repetir no centro do ecrã (esta acção vai gerar uma representação das dimensões da mesa);
- Carregar na tecla 'W', a fim de gravar as dimensões da mesa para o ficheiro *rectangle.txt* presente na pasta da aplicação;
- Copiar o ficheiro *rectangle.txt* e colá-lo na pasta do projecto GeoCake.

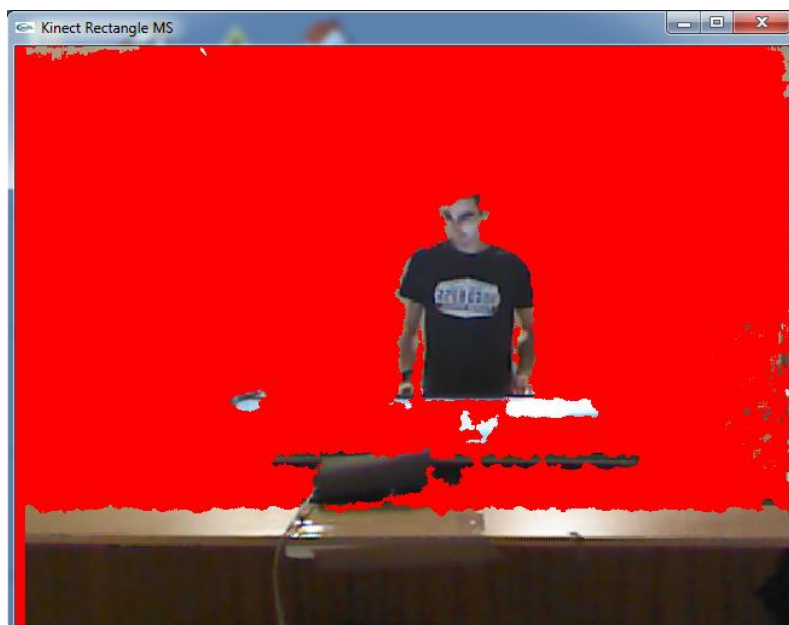


Figura 0.2 - Captura das dimensões da mesa

1.3– Iniciar *HeadTracker*

O *HeadTracker* é a ferramenta que vai localizar continuamente o modelador, escolhendo entre as várias pessoas presentes na sala quem é efectivamente o utilizador do sistema, e passar essa informação à aplicação. Esta ferramenta é indispensável para o sistema na medida em que torna possível a constante actualização da matriz de projecção personalizada ao modelador.

Por forma a iniciar o *Headtracker*, o utilizador deve:

- Iniciar a máquina pertencente à mesa multitoque (caso ainda não o esteja);
- Na pasta da aplicação, entrar no projecto *Head_Tracker_MS*, e correr, na pasta *bin/release*, a aplicação *SkeletonBasics-WPF.exe*.

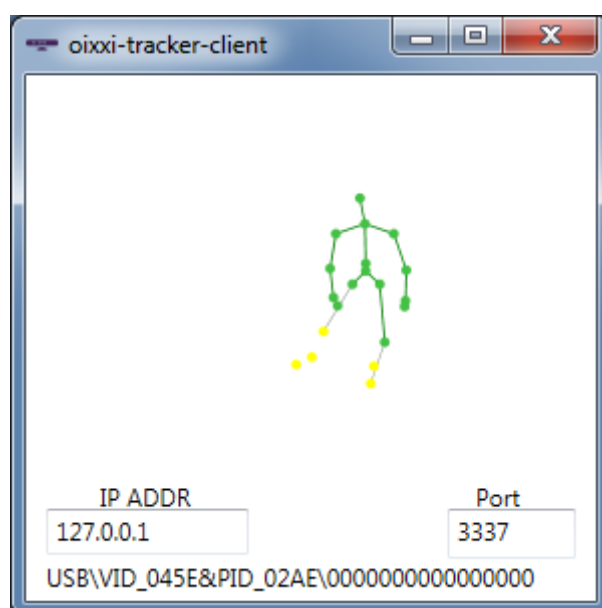


Figura 0.3 - Sistema de captura do modelador

2 - Segurar o Dispositivo de Edição (Caneta)

O dispositivo de edição deve ser segurado na posição/orientação correcta de modo a funcionar devidamente.

Assim, a caneta deve ser segurada na horizontal, podendo ter um ligeira inclinação para a frente e sendo possível rodá-la lateralmente para ambos os lados. Esta possibilidade permite uma maior liberdade ao utilizador.

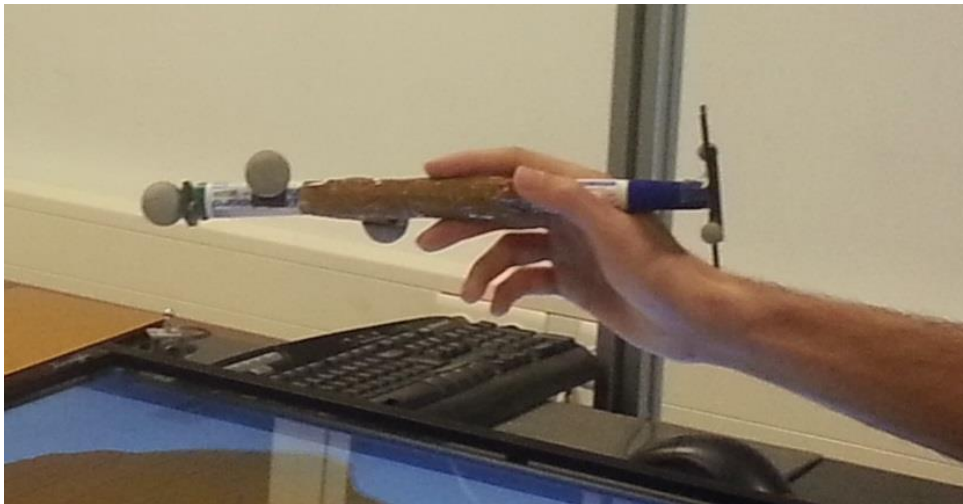


Figura 0.4 - Posição do dispositivo físico (caneta)

3 - Apresentação da Interface (GUI)

Apesar de estar toda localizada à esquerda no ecrã multitoque, a interface gráfica encontra-se dividida em várias zonas. São elas:

- (a) A zona onde é definido o tipo de edição gestual;
- (b) A zona onde é definido o tipo de edição multitoque;
- (c) A zona onde são ajustadas e alternadas as camadas a editar;
- (d) A zona onde é prestada informação ao utilizador.

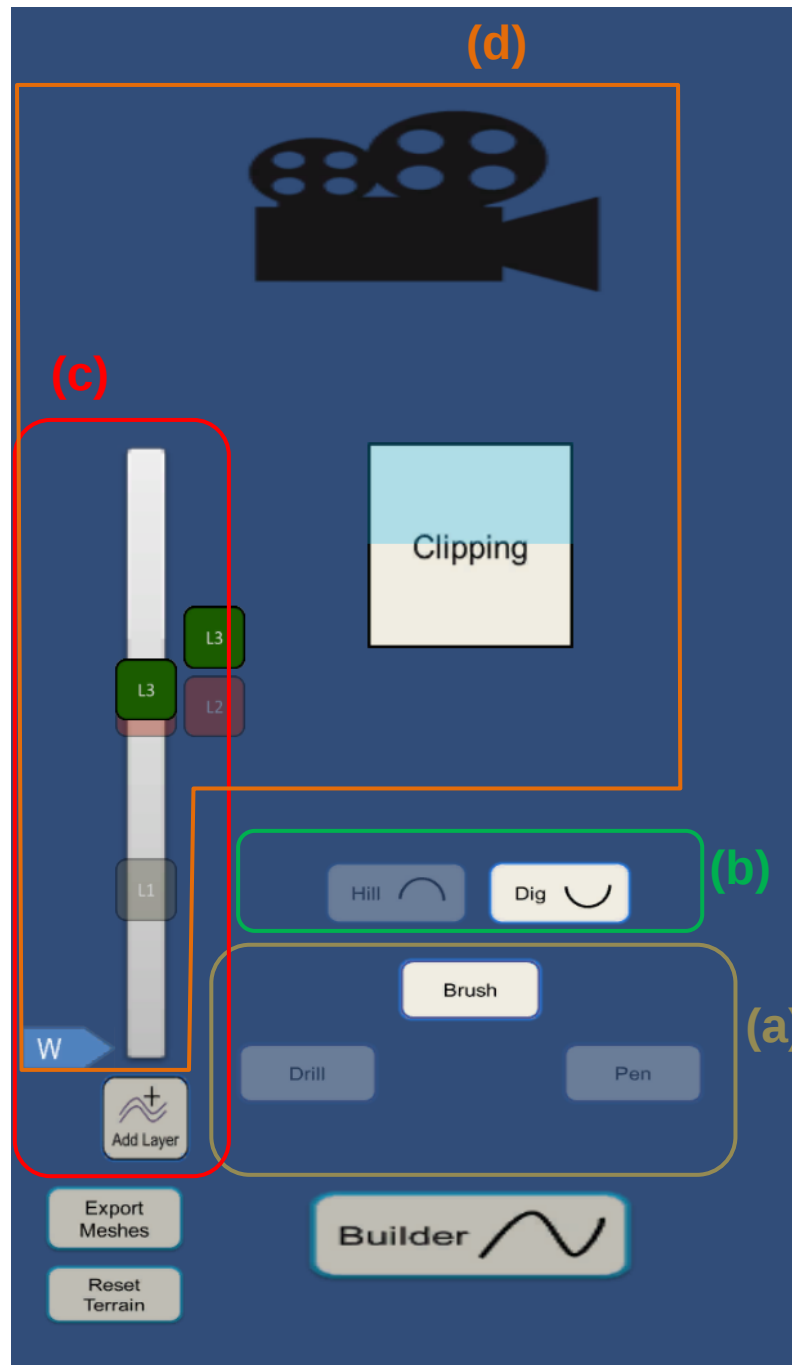


Figura 0.5 - GUI

Estão ainda presentes, um botão para alternar entre o modo de câmara e o modo de edição (*Builder/Camera*), que muda de layout consoante a sua acção, um botão para a exportação das superfícies modeladas (*Export Meshes*) e um para apagar todo o conteúdo criado (*Reset Terrain*); No modo de edição, o avatar da câmara (identificadora do modo de câmara) e a informação sobre o *clipping* (planos de corte) estão ocultos. Em contra partida, no modo de Câmara está oculto o botão que activa/desactiva a edição (*Sketch*).

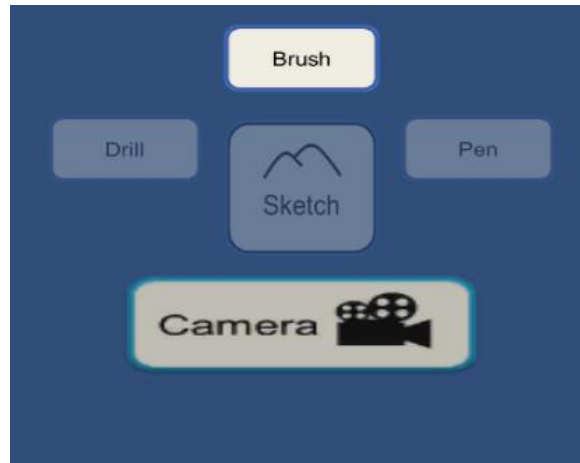


Figura 0.6 - Zona de selecção do cursor e activação de edição (sketch)



Figura 0.7 - Avatar identificador do modo de câmara

4 - Modo de Edição

4.1 Interacção gestual (dispositivo físico)

Para edição recorrendo ao dispositivo físico destacam-se os seguintes:

4.1.1 Drill

A ferramenta *Drill* permite a criação de pontos de perfuração no modelo criado. Assim, o utilizador deve criar dois pontos, um à superfície e outro no interior do modelo que gera automaticamente um caminho de perfuração entre eles.

Utilização:

- Seleccionar o botão *Drill*;
- Colocar a broca no ponto desejado na superfície do modelo;
- Sem mexer a broca, seleccionar o botão *Sketch* (O primeiro ponto é criado);
- Colocar a broca no ponto desejado no interior do modelo;
- Sem mexer a broca, seleccionar o botão *Sketch* (O segundo ponto é criado, bem como o caminho que une os dois pontos).

Nota: De modo a facilitar a colocação dos pontos, quando o botão *Drill* é seleccionado os modelos ficam translúcidos, permitindo observar a broca no interior destes.

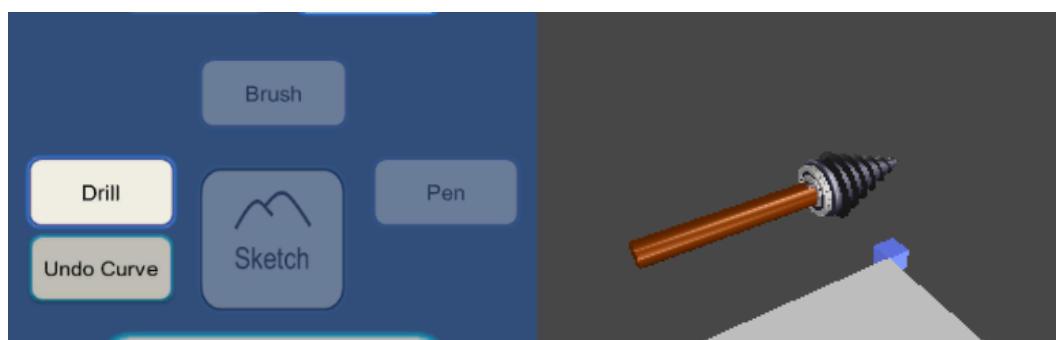


Figura 0.8 - Botão Drill seleccionado/Broca

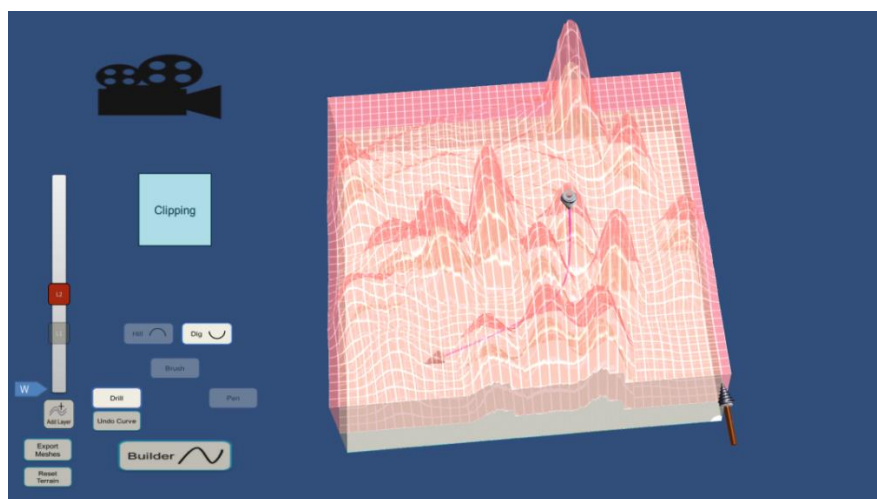


Figura 0.9 - Caminho entre dois pontos de perfuração

4.1.2 Brush

A ferramenta *Brush* permite usar uma talocha (ou desempenadeira) para adição de conteúdo no modelo. A quantidade de conteúdo adicionado ou retirado depende da altura da talocha relativamente à superfície da camada a editar.

Utilização:

- Seleccionar o botão *Brush*;
- Colocar a talocha no local desejado para começar a edição;
- Sem mexer a talocha, seleccionar o botão *Sketch* para iniciar edição;
- Mover a talocha pela superfície ajustando a sua altura para altura desejada da superfície no local;
- Para terminar edição, seleccionar novamente o botão *Sketch*.

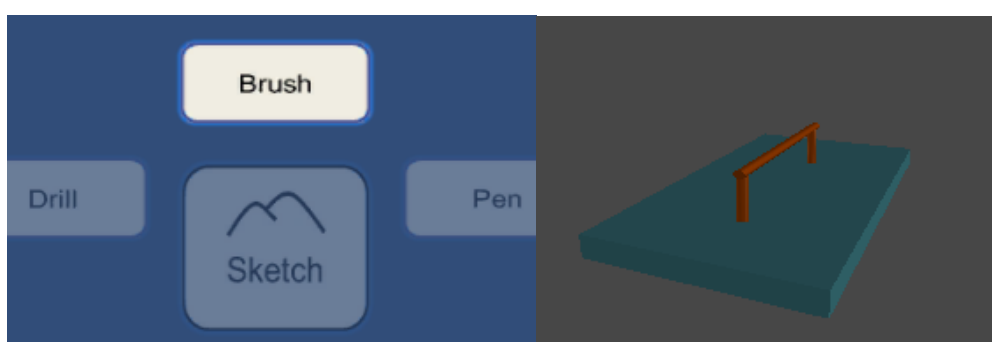


Figura 0.10 - Botão Brush seleccionado/Talocha (Desempenadeira)

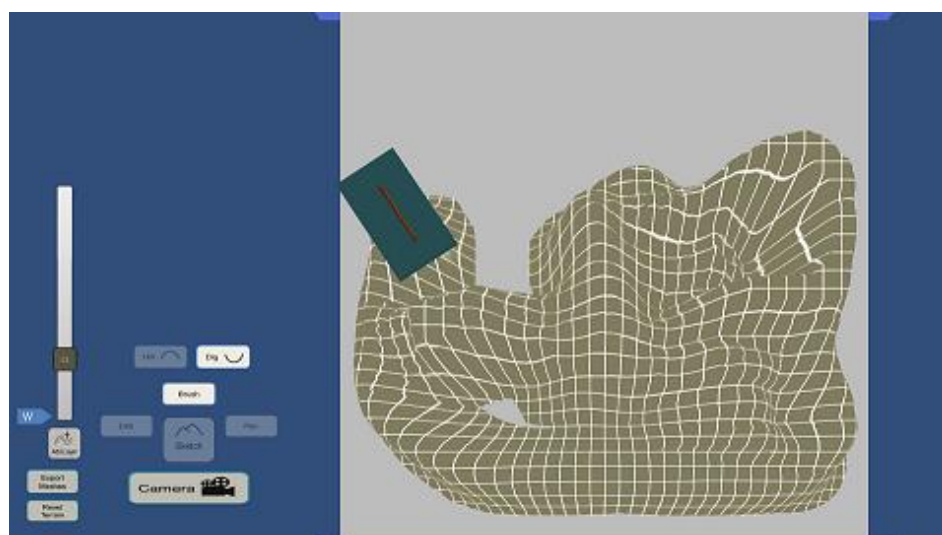


Figura 0.11 - Material adicionado recorrendo à talocha

4.1.3 Pen

A ferramenta *Brush* permite a utilização de uma espécie de caneta para esboço de curvas de pontos. Estas curvas podem posteriormente ser utilizadas para a criação de uma superfície, que se ajusta

aos pontos esboçados, ou para a edição local da superfície, com o mapa de alturas a ser alterado localmente para as alturas dos pontos esboçados.

Utilização:

- Seleccionar botão *Pen*;
- Colocar a caneta no local desejado para começar o esboço dos pontos;
- Sem mexer a caneta, seleccionar o botão *Sketch* para iniciar esboço;
- Mover a caneta de modo a esboçar as curvas desejadas;
- Para terminar esboço, seleccionar novamente o botão *Sketch*;
- Seleccionar o botão *Surface Fit* ou *Augment* para criação da superfície ou alteração local da mesma, respectivamente.

Nota: Ao seleccionar *Augment* os pontos utilizados para a edição local são automaticamente apagados. O mesmo não acontece com o *Surface Fit*, de modo a permitir um reajuste da superfície se desejado.

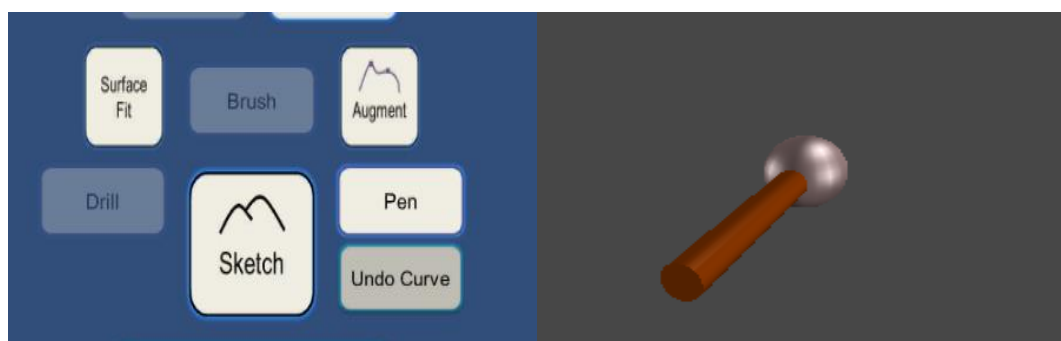


Figura 0.12 - Botão Pen seleccionado/Caneta

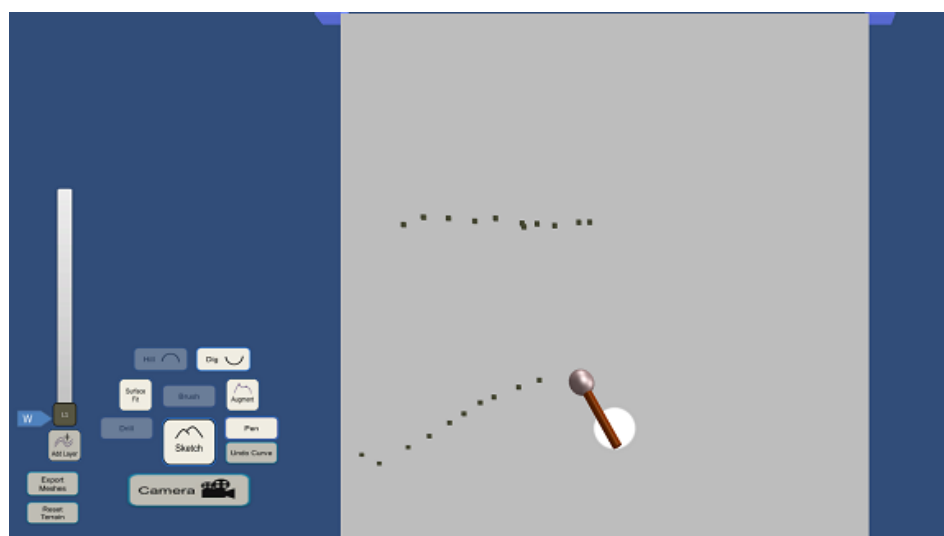


Figura 0.13 - Curva de pontos gerada com a caneta

4.2 Interacção multitoque

Para edição recorrendo à mesa multitoque o utilizador pode seleccionar se deseja criar uma elevação ou uma depressão no local tocado.

Para proceder à adição de **elevações** o utilizador deve carregar em *Hill* e em seguida tocar nos locais desejados no modelo.

Para proceder à adição de **depressões** o utilizador deve carregar em *Dig* e em seguida tocar nos locais desejados no modelo.

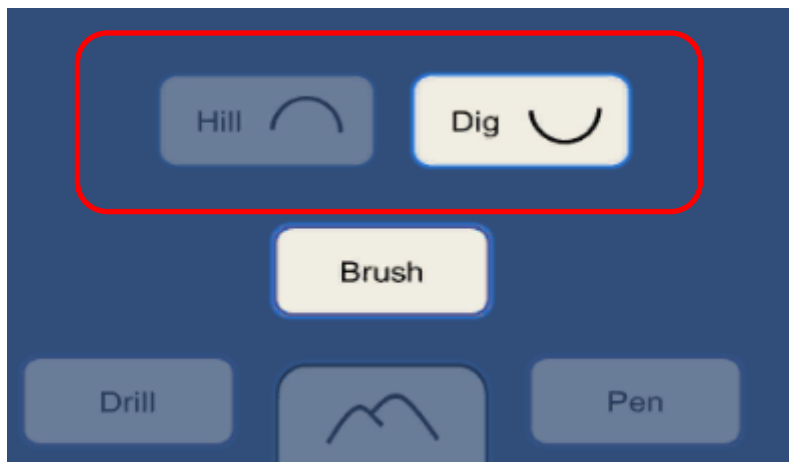


Figura 0.14 - Menu de edição multitoqe

5 - Modo de Câmera

5.1 Transformações

O sistema dá ao modelador a possibilidade de aplicar transformações geométricas aos modelos criados, permitindo a translação, a escala, e rotação sobre o cenário para efeitos de visualização.

Para efectuar a **translação** do modelo, o utilizador pode utilizar um dedo para o arrastar pela superfície multitoque para o local desejado.

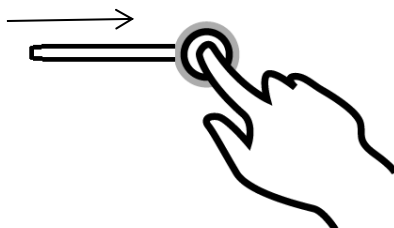


Figura 0.15 - Translação

Para efectuar a **escala** do modelo, o utilizador pode utilizar dois dedos, movendo-os pela superfície multitoque de encontro um ao outro ou afastando-os um do outro formando o mais possível uma linha recta.

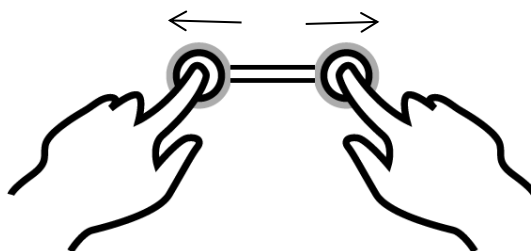


Figura 0.16 - Escala

Para efectuar uma **rotação** em volta do **eixo vertical**, o utilizador pode utilizar dois dedos movendo-os na superfície multitoque de forma circular relativamente um ao outro na direcção da direcção desejada.

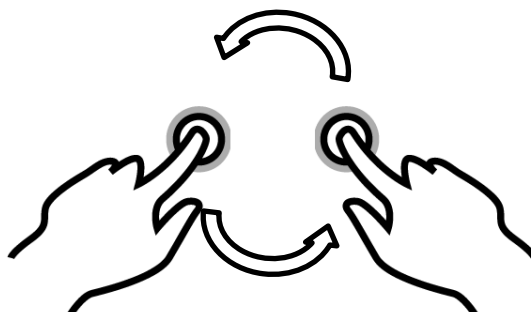


Figura 0.17 - Rotação em torno do eixo vertical

Para efectuar uma **rotação** em volta do **eixo horizontal**, o utilizador pode utilizar três ou mais dedos movendo-os na superfície multitoque na vertical na direcção que deve ocorrer a rotação (ascendente ou descendente).

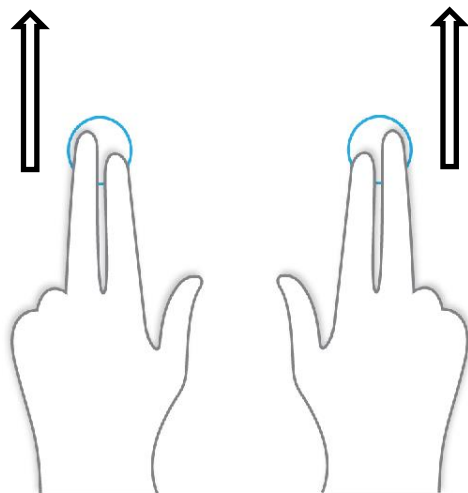


Figura 0.18 - Rotação em torno do eixo horizontal

5.2 Barra de camadas

A aplicação dá ao utilizador a capacidade de alternar entre as várias camadas, bem como ajustar as suas alturas.

Para **criar** uma nova camada, o utilizador apenas precisa de pressionar o botão existente para o efeito. A nova camada é criada automaticamente com o relevo da camada anterior.

Para **seleccionar** uma camada basta tocar no *slider* correspondente à mesma.

Para **ajustar a altura** de uma camada ou do nível de água é necessário tocar no *slider* correspondente à mesma e arrastá-lo ao longo da barra.

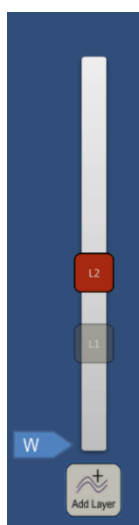


Figura 0.19 - Barra de ajuste das alturas das camadas

5.3 Planos de Corte

A aplicação proporciona ao modelador a possibilidade de explorar os modelos criados definindo planos de corte, ocultando as partes do modelo que não são importantes no momento.

Para o ajuste dos planos de corte, o utilizador deve tocar em uma das pegas presentes nos cantos do modelo e arrasta-la para o local desejado.

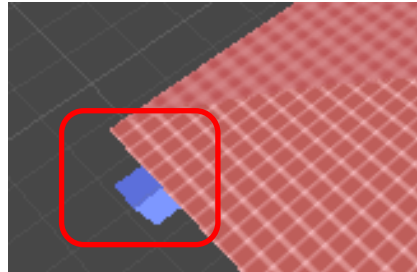


Figura 0.20 - Pega para definição dos planos de corte