



COPPE/UFRJ

GEORISCO3D – VISUALIZAÇÃO TRIDIMENSIONAL APLICADA A
GEOTECNIA

Alexandre Farias Lins

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientadores: José Luis Drummond Alves

Gerson Gomes Cunha

Rio de Janeiro

Julho de 2009

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

GEORISCO3D – VISUALIZAÇÃO TRIDIMENSIONAL APLICADA A
GEOTECNIA

Alexandre Farias Lins

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA
(COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE
EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA CIVIL.

Aprovada por:

Prof. José Luis Drummond Alves, D.Sc.

Prof. Gerson Gomes Cunha, D.Sc.

Prof. Luiz Landau, D.Sc.

Dr. Maria Célia Santos Lopes, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

JULHO DE 2009

Lins, Alexandre Farias

GeoRisco3D-Visualização Científica Tridimensional
Aplicada à Geotecnia / Alexandre Farias Lins. – Rio de
Janeiro: UFRJ/COPPE, 2009.

XII, 65 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadores: José Luis Drummond Alves

Gerson Gomes Cunha

Dissertação – UFRJ/ COPPE/ Programa de
Engenharia Civil, 2009.

Referencias Bibliográficas: p. 61-64.

1. Visualização Científica. 2. Estereoscopia. 3.
Geotecnia. I. Alves, José Luis Drummond *et al.*. II.
Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE,
Programa de Engenharia Civil. III. Título.

Agradecimentos

Em primeiro lugar agradeço a Deus que me permitiu compartilhar um pouco de sua sabedoria.

Agradeço a minha esposa, Flavia, que esteve comigo em todos os momentos desta trajetória. Ela me deu força e incentivo quando faltavam, e transformou em esperança os momentos de desespero diante das dificuldades.

Agradeço a meus orientadores, Prof. José Luis Drummond Alves e Prof. Gerson Gomes Cunha, pela orientação e incentivo, que ajudaram a pavimentar esta estrada.

Agradeço a minha mãe, Sonia, que sempre me incentivou e me ensinou a importância do saber.

Agradeço a meu pai, Joel, que não está mais entre nós, mas sei que também pertence a ele a felicidade desta realização.

Agradeço aos meus chefes na Petrobras Flávio Gondin e Luis Antonio Pereira de Araújo, pelo incentivo e liberação de horas para a realização do trabalho.

Agradeço ao pessoal da gerência de Métodos Científicos do CENPES, pela ajuda e incentivo para a realização deste trabalho

Dedicatória

Dedico este trabalho a Deus que permite que tudo isto aconteça.

A minha esposa Flavia que compartilhou comigo todos estes momentos, me incentivando sempre.

A Gabriel, que é a minha mais nova fonte de inspiração.

E a minha avó Guilhermina. O começo de tudo

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

GEORISCO3D – VISUALIZAÇÃO CIENTÍFICA TRIDIMENSIONAL
APLICADA A GEOTECNIA

Alexandre Farias Lins

Junho/2009

Orientadores: José Luis Drummond Alves

Gerson Gomes Cunha

Programa: Engenharia Civil

Este trabalho apresenta uma proposta de desenvolvimento de uma ferramenta de visualização de terrenos para monitoramento geológico-geotécnicos. Para isto foi criado um gerador de modelos tridimensionais para os terrenos monitorados, que podem ser visualizados com estereoscopia. Além disso, desenvolve também técnicas de interface com funcionalidades que permitam ao usuário interagir de maneira adequada com a visualização das simulações, em conjunto com os outros documentos necessários para os estudos geotécnicos. Para a avaliação dos resultados foram feitos testes de usabilidade com usuários.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

GEORISCO3D – THREE DIMENSIONAL SCIENTIFIC VISUALIZATION
APPLIED TO GEOTECHNICS

Alexaandre Farias Lins

June/2009

Advisors: José Luis Drummond Alves

Gerson Gomes Cunha

Department: Civil Engineering

This work presents a proposal to develop a tool for visualization of terrain models for geological and geotechnical monitoring. To this was created a generator of three-dimensional models for terrain monitoring, which can be viewed with stereoscopy. Furthermore, also develops technical interface with features that allow the user to interact adequately with the visualization of simulations, together with other documents necessary for the geotechnical studies. For the evaluation of results were made usability tests with users.

Índice

1	Introdução.....	1
1.1	Motivação e Objetivo	4
1.2	Estado da Arte	4
1.3	Relevância	5
1.4	Descrição do trabalho	6
2	Visualização de Terreno	8
2.1	DEM	8
2.2	LOD.....	11
2.3	Sistemas para geração de Imagens em 3D.....	12
2.3.1	Java3D	14
3	Instrumentos geotécnicos e cálculo da tendência do movimento do solo.....	15
3.1	Interpolação de Dados	15
3.2	Algoritmos para fazer a interpolação do terreno	15
4	Ambiente de tomada de decisões	18
4.1	Mesa sensível ao toque	18
4.2	Visualização estereoscópica	19
5	Metodologia Proposta.....	21
5.1	Criação do ambiente de tomada de decisões	21
5.1.1	Mesa de Trabalho	23
5.1.2	Área para manipulação de modelo tridimensional	24
5.1.2.1.	Imagem	24
5.1.3	Barra de imagens	25
5.1.3.1.	Imagem Miniatura	25
5.1.4	Botão.....	25
5.1.5	Janelas de visualização 3D	26
5.1.5.1.	Janela3D	26
5.1.5.2.	Janela3dWrapper	26
5.1.5.3.	Container3D	26
5.1.5.4.	Container3DWrapper.....	27
5.2	Visualização estereoscópica do terreno.....	27
5.2.1	Modelo digital vindo do ArcGis.....	28
5.2.2	Leitura do Arquivo TIFF.....	28

5.2.2.1.	Classe Visualizador3D	30
5.2.2.2.	Classe WrapVisualizador3D.....	30
5.2.2.3.	Classe Area	30
5.2.2.4.	Classe TIFFLoader	31
5.2.2.5.	Classe Inclímetro	31
5.2.3	Dados dos Inclímetros	32
5.2.4	Algoritmo de Visualização	33
5.2.4.1.	Classe Terreno	33
5.2.4.2.	Implementação do LOD	34
5.2.4.3.	Classe MoveLOD	37
5.3	Interpolação dos dados	37
5.3.1	Classe Interpolador	38
5.3.2	Desenhando a malha derivada sobreposta.....	38
5.4	Testes de usabilidade	38
5.4.1	Usabilidade - Definição	38
5.4.2	Medições.....	39
6	Ambiente Computacional	41
6.1	Computador Utilizado para os Testes.....	41
6.2	Arquitetura Geral do Sistema	41
6.3	Ambiente de Desenvolvimento	42
6.3.1	Linguagem de Programação Java	43
6.3.2	Ambiente de Programação - Netbeans	43
6.3.3	JAI	44
6.3.4	Java3D	44
6.3.5	JavaFX.....	45
6.4	ArcGis.....	46
7	Estudo de Caso	47
7.1	Gerando a malha.....	47
7.1.1	Curvas de nível	47
7.2	Gerando os Inclímetros.....	49
7.3	Gerando a malha interpolada.....	51
7.4	Manipulando os dados na mesa	53
7.5	Testes e validação com Usuários.....	55
8	Conclusão	57

8.1	Visualização 3D.....	58
8.2	Ambiente de Tomada de Decisões	58
8.3	Trabalhos Futuros	59
	Referências bibliográficas	60
	ANEXO I - Questionário.....	65

Lista de Figuras

Figura 1.1 - Deslocamento Acumulado por Profundidade	2
Figura 1.2 - Deslocamento Incremental por Profundidade.....	2
Figura 1.3 - Velocidade do Deslocamento Por Profundidade	3
Figura 2.1 – Arquivo contendo o mapa de alturas do terreno	9
Figura 2.2 - Arquivo contendo o mapa de alturas interpolado do terreno.....	10
Figura 2.3 – Arquivo contendo a imagem fotográfica aérea do terreno.....	10
Figura 2.4 - duas grades regulares com quantidades de pontos diferentes. A primeira grade tem 81 pontos, enquanto a segunda tem 25	12
Figura 2.5 – Grafo de cena de braço robótico com base e “cotovelo” destacados em azul.	13
Figura 2.6 – Grafo de cena de braço robótico com base e “cotovelo” rotacionados (destacados em azul).....	13
Figura 3.1 - Exemplo de diagrama de Voronoi	17
Figura 4.1 - Sistema gerenciador da mesa de interação	19
Figura 4.2 – Imagens geradas para o olho esquerdo e para o olho direito do mesmo modelo.	20
Figura 5.1 – Mesa de trabalho com seus componentes.	22
Figura 5.2 – Diagrama de classes de implementação do sistema gerenciador da mesa. 23	
Figura 5.3 – Imagem com o ícone “Fechar” semitransparente e opaco.	25
Figura 5.4 – Diagrama de Classes com as classes envolvidas na geração e controle das janelas tridimensionais.	27
Figura 5.5 – valores nulos representados com a cor preta na imagem.	29
Figura 5.6 – Modelo 3D com efeito “parede”.	29
Figura 5.7 – Diagrama de Classes de Implementação das classes envolvidas na conversão do arquivo TIFF.....	32
Figura 5.8 - Diagrama de Classe de Implementação com as classes envolvidas na geração do modelo.....	33
Figura 5.9 - Fórmulas para cálculo do tamanho do modelo	35
Figura 5.10 - Modelo com nível de detalhe original	36
Figura 5.11 - Modelo com menos pontos para ser utilizado no LOD	36
Figura 5.12 Framework de usabilidade – ISSO 9241 -11	40
Figura 6.1- Fluxo dos dados para geração dos modelos.....	42
Figura 6.2 - Fluxo dos dados para visualização dos modelos	42

Figura 6.3 - Esquema de execução do Java3D	45
Figura 7.1 - Curvas de nível do terreno	48
Figura 7.2 - Imagem "rasterizada do modelo" no ArcGis	49
Figura 7.3 - Tabela com os dados dos inclinômetros	50
Figura 7.4 - Inclinômetros (vetores amarelos) associados ao modelo.....	51
Figura 7.5 - diagrama de Voronoi gerado para o terreno no ArcGis.....	52
Figura 7.6 - Cálculo do novo valor de z	52
Figura 7.7 - Protótipo sendo executado	53
Figura 7.8 - Protótipo sendo executado	54
Figura 7.9 - Protótipo sendo executado	54
Figura 7.10 - Gráfico com os resultados da pesquisa	56

1 Introdução

O controle do deslocamento do solo em áreas de risco de desmoronamento requer a utilização de uma grande quantidade de instrumentos de aquisição e registro de dados. Estes instrumentos de monitoramento geotécnicos geram uma grande quantidade de dados.

A visualização destes dados é feita basicamente através de análise de imagens e de gráficos bidimensionais. Este tipo de abordagem requer que o profissional responsável pela análise realize uma abstração para ter uma visão tridimensional do movimento do solo.

Um dos instrumentos utilizados para monitorar deslocamentos de solo em uma região é o inclinômetro. O inclinômetro é um instrumento geotécnico que registra os deslocamentos do solo onde ele está posicionado. Uma das maneiras de análise dos dados registrados pelo inclinômetros é desenhando alguns gráficos bidimensionais. Estes gráficos podem representar, por exemplo, o deslocamento acumulado por profundidade, o deslocamento incremental por profundidade, e, a velocidade do deslocamento por profundidade, como vistos nas figuras 1.1, 1.2 e 1.3.

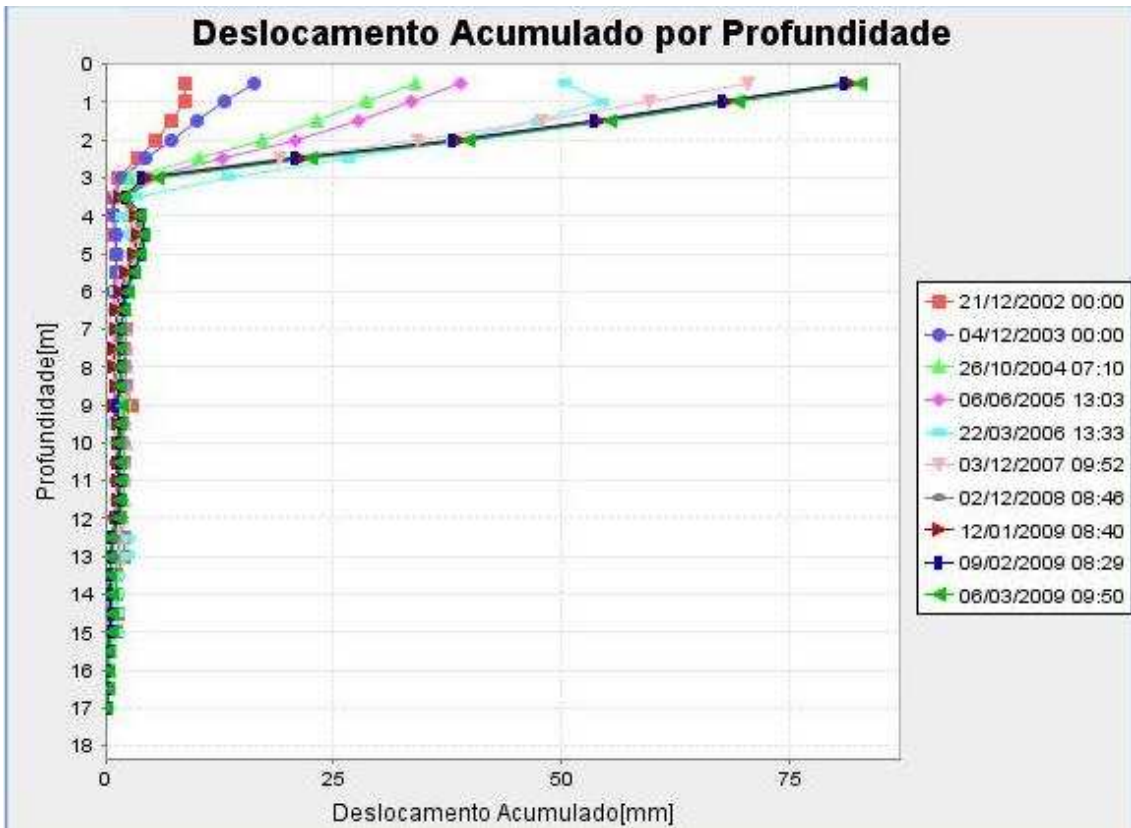


Figura 1.1 - Deslocamento Acumulado por Profundidade

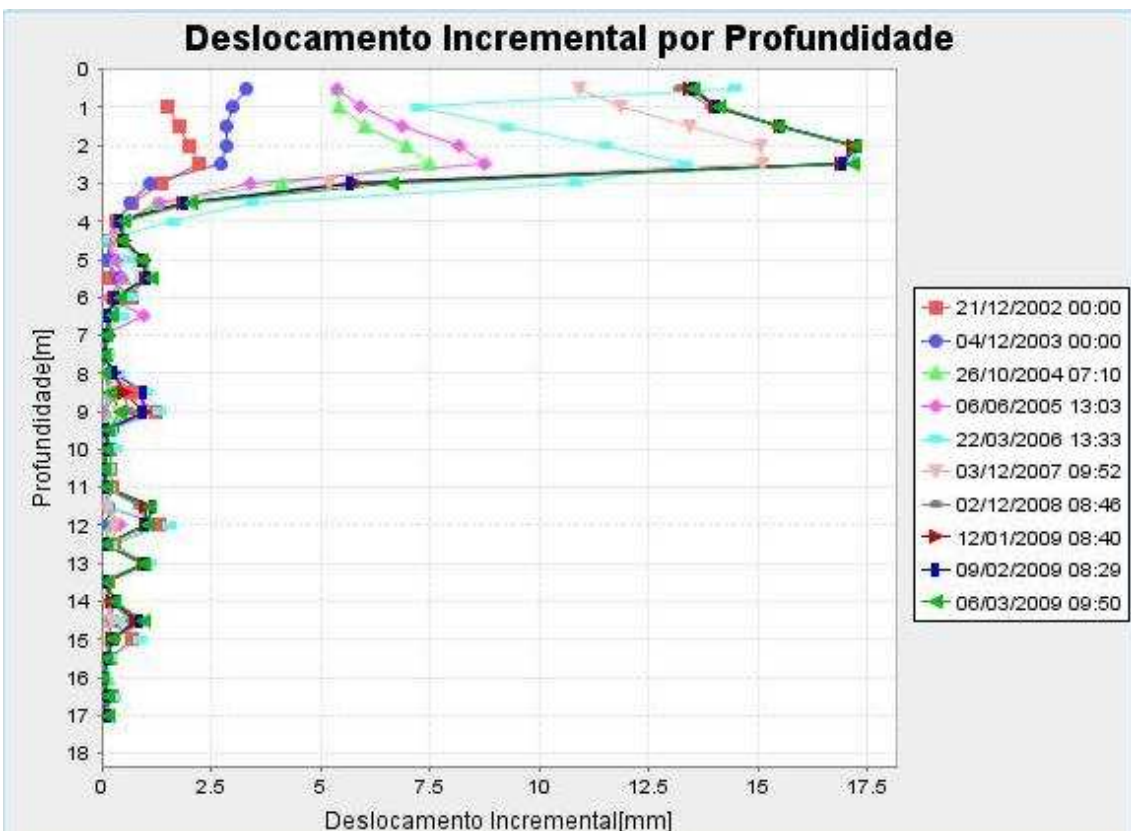


Figura 1.2 - Deslocamento Incremental por Profundidade

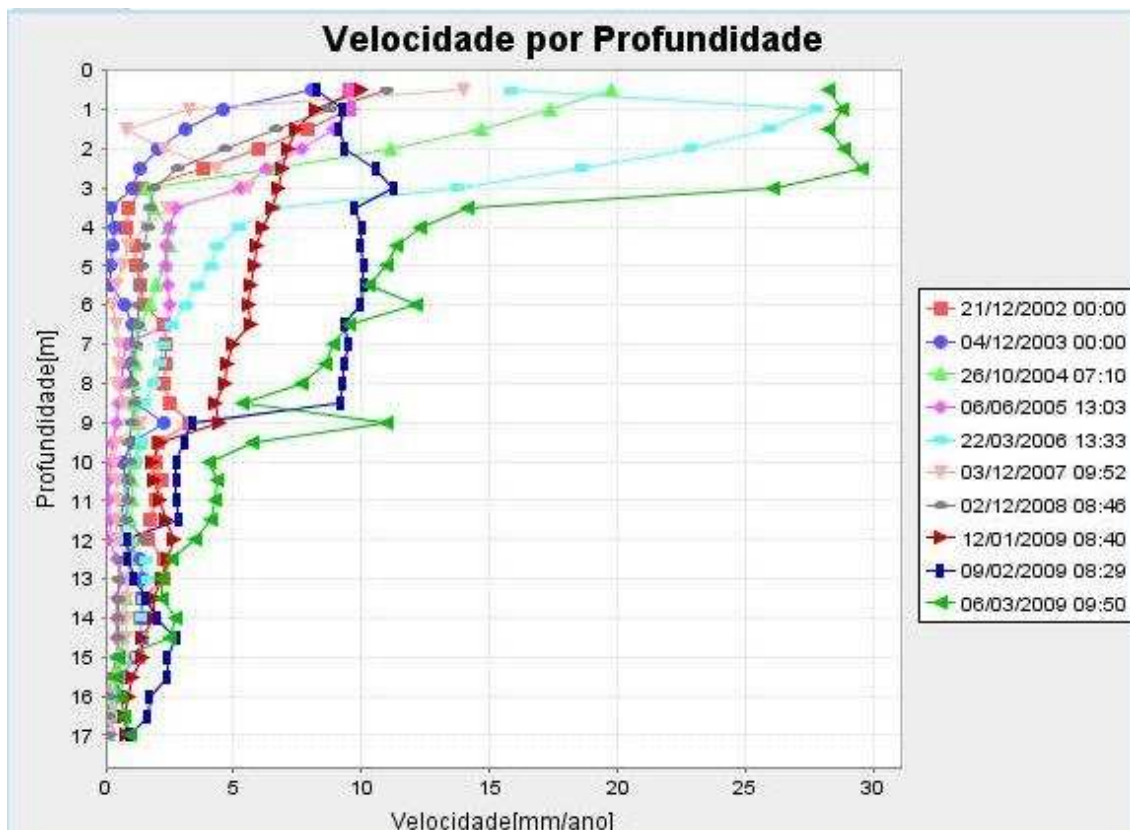


Figura 1.3 - Velocidade do Deslocamento Por Profundidade

A utilização de recursos de computação gráfica para ajudar a visualização dos deslocamentos do terreno ainda não é um recurso explorado em todo o seu potencial atualmente, e pode contribuir muito para o trabalho dos profissionais envolvidos no processo de monitoramento.

Outro recurso que pode ajudar o trabalho é a utilização de técnicas de interface, como visualização em estereoscopia, e uma tela de interação, sensível ao toque de uma caneta, em formato de uma mesa de trabalho, para entrada e visualização de dados, que podem ser usadas para auxiliar na criação de um ambiente de trabalho para tomada de decisões

A escolha de utilizar um dispositivo em formato de mesa de trabalho teve o intuito de favorecer a interação entre vários usuários, pois o uso de uma tela tende a forçar que, quando uma pessoa interaja com o sistema, normalmente fique na frente do campo de visão dos outros usuários. Desta maneira, portanto vários usuários podem visualizar a interação com o sistema simultaneamente, no mesmo ambiente.

A utilização de uma tela no formato tradicional se dá apenas para a visualização do modelo tridimensional.

1.1 Motivação e Objetivo

Vazamentos de óleo causam um grande impacto ecológico, econômico e social. Uma das grandes preocupações de uma companhia de petróleo é evitar a ocorrência de vazamentos, e caso ocorram, diminuir seus impactos.

Uma das maneiras de evitar o vazamento é monitorar as áreas por onde passam os dutos. Este monitoramento é feito por geotécnicos, com o auxílio de leitura de vários instrumentos de monitoramento que verificam os riscos geológico-geotécnicos.

Uma das motivações para este trabalho foi o fato de que os estudos geológicos-geotécnicos, por sua natureza, tem um grande potencial para utilizar os recursos de um aplicativo de visualização tridimensional. Além disto, existe hoje disponível na Petrobras uma infra-estrutura para uso de recursos de visualização tridimensional. Esta infra-estrutura está disponível para o uso dos funcionários.

Este trabalho tem por objetivo criar um protótipo de um ambiente de tomada de decisões, composto por uma mesa sensível ao toque associada a um visualizador científico tridimensional estereoscópico, aplicado à geotecnia, para monitoração de parâmetros de riscos geológico-geotécnicos associados a maciços rochosos.

O visualizador desenvolvido apoiará o geotécnico na avaliação da segurança de áreas de risco geológico-geotécnicos, utilizando uma abordagem integrada dos processos de causa (aceleração de pico no embasamento) e efeito (deformações e deslocamentos residuais do maciço) considerando a análise de dados experimentais obtidos por instrumentação geotécnica.

Outro objetivo do sistema é desenvolver técnicas de interface com funcionalidades que permitam ao usuário interagir de maneira adequada com a visualização das simulações, e com os todos os arquivos necessários para o estudo. Este objetivo foi motivado pelo fato da grande variedade hoje disponível, de equipamentos que permitem formas de interação homem-máquina que vão além do tradicional *mouse* e teclado. Podemos citar os aparelhos de celular hoje existentes, com touch screen e multi touch, e plataformas de videogames em que os controles são acelerômetros.

1.2 Estado da Arte

A visualização de terrenos é uma área da computação gráfica que permite visualizar e examinar, modelos digitais de terreno. A geração de terrenos digitais é utilizada hoje

em dia em jogos, simuladores e em aplicativos SIG (Sistema de Informação Georeferenciada – GIS em inglês). O grande desafio para a visualização de terrenos é a grande quantidade de dados necessários para um resultado satisfatório, isto pode diminuir o desempenho durante a movimentação do modelo na tela, tornando a visualização um pouco desagradável. Diversos autores descrevem modos de resolver este problema, utilizando a técnica de níveis de detalhe. Esta técnica consiste em mostrar modelos com resoluções diferentes, de acordo com a distância, ou quando o modelo está em movimento na tela.

Alguns trabalhos tentam melhorar o desempenho, criando estruturas de dados especiais para o problema, com em Velho et al [1], onde os dados de terrenos são representados a partir de malhas semi-regulares, com a vantagem de permitir representar os objetos do mundo real de forma única e transparente. Mello et al [2] em seu trabalho, considera que a visualização tridimensional de terrenos em ambientes computacionais está geralmente relacionada com a capacidade de resposta em tempo real. Nestas aplicações, o modo através do qual os dados são preparados torna-se preponderante. Outros trabalhos se prendem mais a questão dos níveis de detalhe, como em Robert et al [3], que introduz um eficiente algoritmo para nível de detalhe, que apresenta transições suaves entre os níveis. Também em Hao et al [4] é apresentado um método baseado em dois níveis de detalhe para resolver o problema do desempenho.

Existem hoje disponíveis, vários equipamentos que permitem formas de interação homem-máquina que vão além do tradicional *mouse* teclado. Podemos citar os aparelhos celulares hoje existentes, com tela sensível ao toque ou multi-toque, consoles de videogames como Wii, onde o controle é um acelerômetro, e vários outros.

A utilização de dispositivos sensíveis ao toque para interface homem-máquina é um recurso que está começando a se tornar mais comum. Já podemos achar vários exemplos na internet, bem como nas emissoras de televisão. Estes tipos de dispositivos podem melhorar a usabilidade em um ambiente de trabalho.

Silva [5] testa novas formas de medir a usabilidade em equipamentos médicos, sendo uma tela sensível ao toque um destes equipamentos .

1.3 Relevância

A contribuição deste trabalho é aliar a visualização tridimensional de terrenos com as leituras de instrumentos geotécnicos, disponibilizando informações dos

deslocamentos de uma maneira tridimensional, dentro de um ambiente computacional que favorece o uso simultâneo de uma equipe.

Desta maneira, os profissionais têm mais uma ferramenta de auxílio para suas tarefas, que apresenta uma visualização muito mais realista da análise sendo feita.

Esta ferramenta tem a forma de um ambiente de tomada de decisões, e pode ser usada em vários contextos na indústria de petróleo, como por exemplo, no estudo geológico-geotécnico para prevenção de acidentes.

1.4 Descrição do trabalho

Este trabalho está dividido em oito capítulos, que serão apresentados da seguinte forma:

- O capítulo 1 apresenta a motivação e objetivo do trabalho, e uma descrição do problema a ser apresentado e de como desenvolver um aplicativo que possa ajudar a visualização dos dados do terreno;
- O capítulo 2 descreve a visualização interativa de terrenos. Esse capítulo aborda como são guardados os dados do modelo, utilizando modelos de elevação digital. Ele trata também a questão do desempenho, com a utilização da técnica de níveis de detalhe para a visualização. Além destes aspectos, este capítulo também descreve os sistemas para geração de imagens tridimensionais mais conhecidos e utilizados, suas características, vantagens e desvantagens.
- O capítulo 3 trata a análise dos dados dos instrumentos geotécnicos e a melhor maneira para utilizar estes dados na visualização do terreno de forma a mostrar a tendência do movimento do solo no modelo. Uma boa maneira para isto é utilizar interpolação de dados, que é tratada também neste capítulo.
- O capítulo 4 descreve o ambiente de tomada de decisões composto por uma mesa sensível ao toque, e do visualizador tridimensional estereoscópico.
- O capítulo 5 descreve a metodologia proposta neste trabalho para visualizar o terreno, ler os dados dos inclinômetros, gerar uma nova visualização com o modelo derivado dos dados dos inclinômetros e interpolados através do método do inverso do quadrado da distância, e a comparação dos dois modelos tridimensionais gerados.
- O capítulo 6 trata do ambiente computacional. Este capítulo descreve as ferramentas computacionais utilizadas para o desenvolvimento do visualizador.

- O capítulo 7 descreve o estudo de caso realizado, demonstra a utilização do protótipo e os resultados obtidos;
- O capítulo 8 apresenta as considerações finais, as conclusões do trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

2 Visualização de Terreno

A visualização de terrenos consiste em recriar uma superfície, computacionalmente, em três dimensões, e mostrar este modelo na tela do computador.

Algoritmos para visualização interativa de terrenos são complexos e, ao mesmo tempo, de grande importância para muitas aplicações como jogos e planejamento de atividades sobre terrenos [6].

As duas questões mais importantes a serem resolvidas em um sistema para visualização interativa de terrenos são o volume de dados a ser manipulado e o desempenho. Entre as técnicas utilizadas para resolução destes problemas, duas se destacam:

- DEM (*digital elevation model* – modelo de elevação digital em inglês); e
- LOD (*level of detail* – nível de detalhe em inglês).

Estas técnicas serão descritas a seguir:

2.1 DEM

Dados de terrenos podem ser vistos como superfícies de alturas feitas através de mapas de elevações com diversas amostras de alturas. Esta é a maneira mais comumente utilizada para representar um terreno computacionalmente [7]. Desta maneira pode-se dizer que um Modelo Digital de Terreno nada mais é que uma representação matemática da realidade geográfica, onde se tem como conhecido um conjunto finito de pontos com coordenadas (x, y e z), sendo que, a partir destes se interpolam todas as informações relativas à superfície das quais tais pontos fazem parte [8].

Modelo de Elevação Digital de Terreno (DEM) é definido como uma representação digital da variação contínua do relevo no espaço. Entretanto deve-se salientar que o termo Modelo Digital de Terreno não é sinônimo de DEM, mas como uma parte de tal, já que o DEM inclui em seus componentes não só o atributo altitude, mas outras feições tais como as produzidas pelo homem (casa, prédios etc.) ou não (vegetação, árvores etc.) [8].

Neste trabalho o Modelo Digital de Terreno é composto por três arquivos distintos, cada um possuindo os seguintes componentes do modelo:

- Dois arquivos contendo as altitudes em uma grade regular;
- Arquivo contendo a imagem fotográfica aérea do terreno;
- Arquivo com os valores pontuais, lidos dos inclinômetros.

Os arquivos contendo as altitudes são representados como arquivos do tipo GEOTIFF, que é um padrão de metadados, onde é possível inserir informações de coordenadas geográficas em um arquivo de imagem do tipo TIFF. O arquivo contendo a imagem fotográfica, Estes arquivos podem ser vistos nas figuras 2.1 2.2 e 2.3 respectivamente.



Figura 2.1 – Arquivo contendo o mapa de alturas do terreno

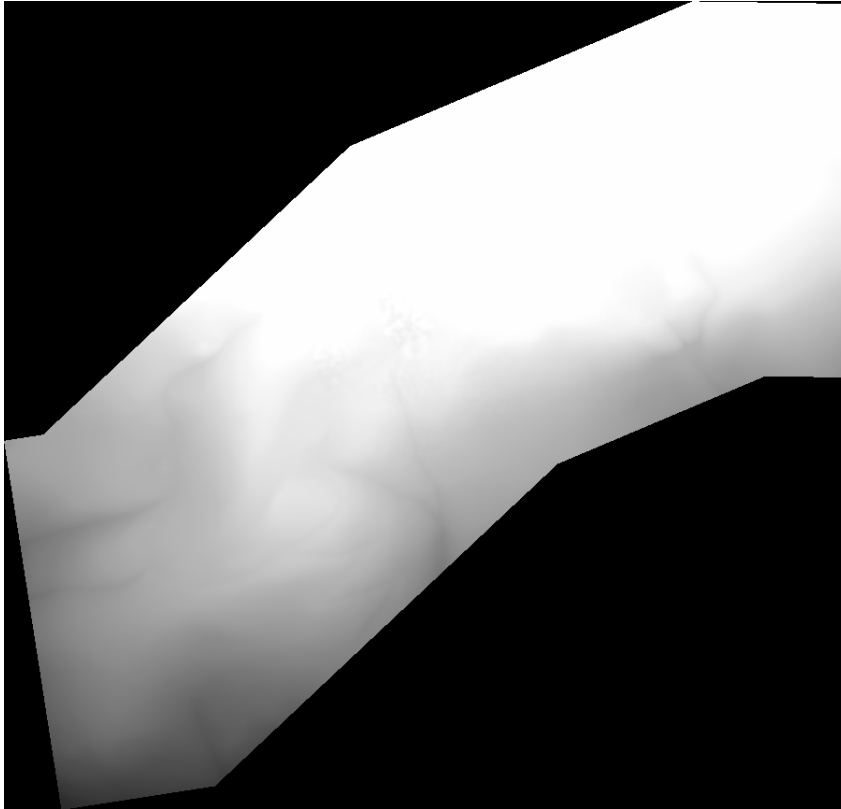


Figura 2.2 - Arquivo contendo o mapa de alturas interpolado do terreno



Figura 2.3 – Arquivo contendo a imagem fotográfica aérea do terreno

Cada um destes modelos está disposto como uma estrutura de dados na qual os dados dos eixos x e y estão dispostos de uma forma tal que a diferença entre x_n e x_{n+1} é constante e igual à diferença entre y_n e y_{n+1} . Esta estrutura é chamada de grade regular ou GRID.

Os dados dos inclinômetros são compostos pelo ponto onde se encontram (x,y,z), e um valor com o deslocamento no topo, que mostra a tendência do movimento. Estes valores serão marcados no modelo, em suas posições, e serão utilizados para interpolar a tendência do movimento no modelo, e gerar o modelo que representa esta tendência.

2.2 LOD

Em um ambiente tridimensional interativo, uma questão importante é a animação. Ela precisa ser suave e contínua, isto é, o usuário não deve perceber a transição entre imagens consecutivas, ainda que estas imagens sejam muito semelhantes entre si. [2] A técnica conhecida como LOD (do inglês *level of detail* – nível de detalhe), é uma técnica de multiresolução, que consiste em apresentar o modelo com qualidade diferente (quantidade de pontos na grade), dependendo do momento em que a cena está sendo desenhada. Nos momentos em que o desenho é de um modelo mais simples, a perda de qualidade é compensada por um ganho de desempenho.

Clark [9] foi o primeiro a falar, tanto quanto é possível determinar, a origem dos algoritmos LOD para computação gráfica 3D.

Uma representação por níveis de detalhe requer o uso simultâneo de diferentes escalas para o mesmo objeto [6]. A redução da qualidade visual do modelo é freqüentemente despercebida devido ao pequeno efeito causado sobre a aparência do objeto quando este está distante ou em movimento rápido [9].

Desta maneira, um sistema computacional pode se utilizar deste recurso para manter uma qualidade de desempenho, aliada a qualidade visual. Um objeto sendo visto de longe, ou em movimento rápido, pode ser trocado por um semelhante, com menos detalhes, pois nestes momentos, o próprio olho humano não consegue perceber estas diferenças.

Podem existir vários níveis de detalhe para o mesmo modelo. Deste modo, é possível para uma aplicação ir aumentando a qualidade do modelo à medida que a velocidade do movimento na tela, ou a distância do observador para o modelo for diminuindo.

Na figura 2.4 podemos ver duas representações de grades regulares com níveis de detalhes diferentes para uma mesma superfície fictícia.

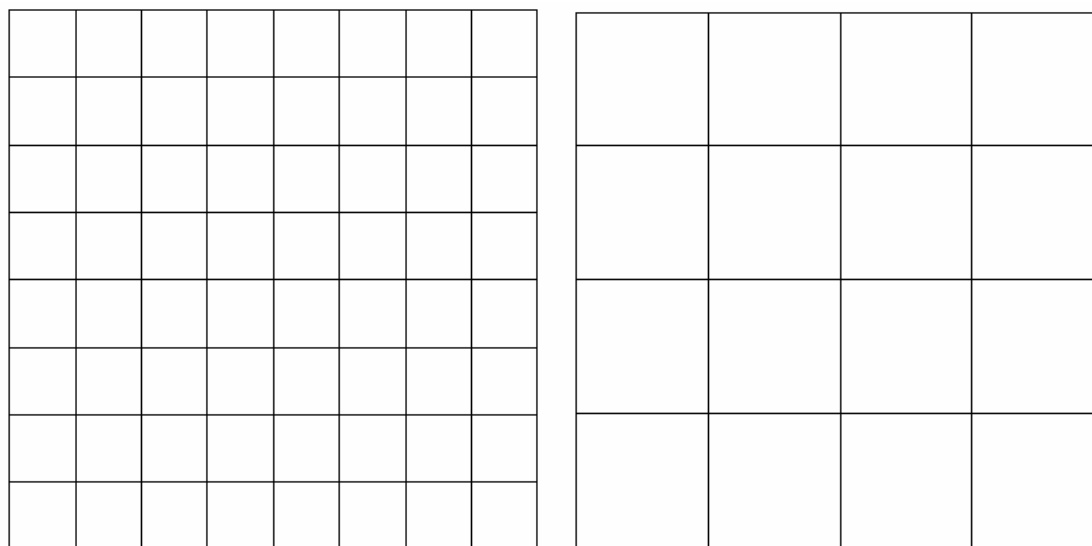


Figura 2.4 - duas grades regulares com quantidades de pontos diferentes. A primeira grade tem 81 pontos, enquanto a segunda tem 25

É possível, inclusive, combinar as duas abordagens (distância e velocidade), ou usar outra desejada, de acordo com as características do sistema. Neste trabalho, além de utilizar esta técnica para aumentar o desempenho da visualização durante a manipulação do modelo pelo usuário, ela foi utilizada também para gerar a visualização da tendência do movimento no modelo, que apesar de não ser o modelo com menos detalhe, é uma representação do mesmo modelo, com alguns pontos alterados. Este tópico será detalhado mais adiante, no capítulo 5.

2.3 Sistemas para geração de Imagens em 3D

Para a implementação do visualizador foram estudados alguns dos sistemas para geração de imagens em 3D mais conhecidos: VRML; OpenSceneGraph; OpenSG; Java3D.

Todos estes sistemas são baseados em grafo de cena. Possivelmente a melhor consequência em utilizar uma linguagem baseada em grafo de cena, é que qualquer operação aplicada a um nó automaticamente propaga seus efeitos a todos os seus filhos, recursivamente. [10]. Além disto o grafo de cena também otimiza a cena, resolvendo o clipping (que é o corte das partes da cena que não estão no campo de visão do observador) e a oclusão (que é decidir se um objeto vai ser desenhado ou não, caso esteja sendo encoberto por outro).

Este enfoque facilita a propagação dos movimentos (rotação, translação, etc.) e dos efeitos (escala, cor, etc.), pois para programar estes eventos é preciso somente fazê-lo nos nós pais, e eles são propagadas para os nós filhos, pelo sistema.

Para exemplificar, podemos imaginar um modelo representando um braço robótico conforme figuras 2.5 e 2.6. Para fazer o antebraço e a ponta rotacionarem, basta aplicarmos a rotação desejada no “cotovelo” (nó pai – parte em azul), para ser automaticamente propagada para os nós filhos (antebraço, ponta, etc.). Para fazer o braço inteiro rodar, basta aplicarmos a rotação desejada na base (nó pai – parte em azul), para ser automaticamente propagada para todo o braço.

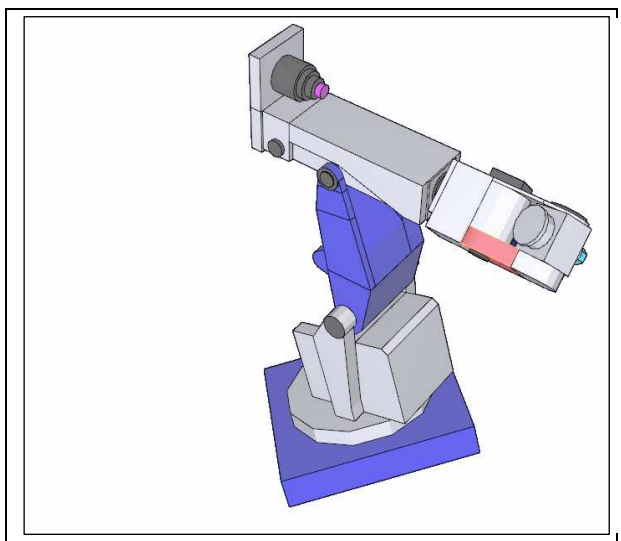


Figura 2.5 – Grafo de cena de braço robótico com base e “cotovelo” destacados em azul.

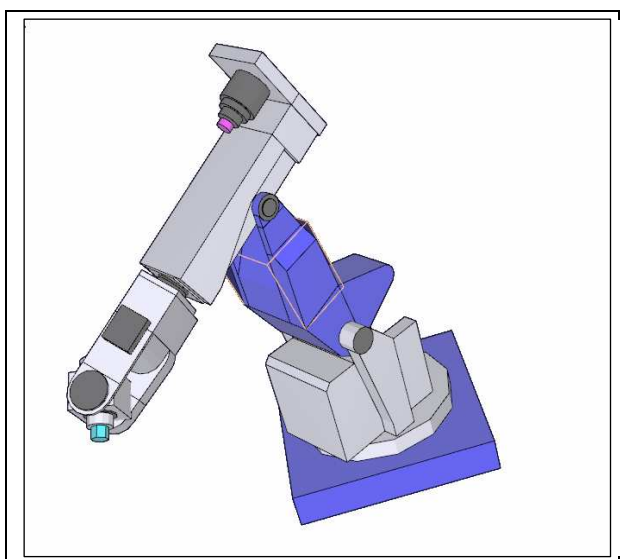


Figura 2.6 – Grafo de cena de braço robótico com base e “cotovelo” rotacionados (destacados em azul).

2.3.1 Java3D

Java3D foi a sistema gerador de imagem utilizado no trabalho. Java3D é uma biblioteca para programação 3D relativamente nova, mas tem grandes possibilidades de aumentar sua relevância. Apoiando-se por um lado nas vantagens inerentes ao Java, e por outro em permitir uma execução baseada em OpenGL e/ou DirectX [10]. Apesar disto, Java3D é demasiado lento para projetos em que a velocidade é uma característica fundamental, como no caso de sistemas em tempo real. [10].

Java3D é uma biblioteca de programação 3D para a linguagem Java baseada em grafo de cena. Uma das principais diferenças entre Java3D e os outros sistemas para geração de imagens em 3D citados anteriormente, é que o grafo de cena de Java3D é totalmente baseado no paradigma da programação orientada a objetos. Desta maneira o Java 3D tem a preocupação de possibilitar a utilização de conceitos da POO, como o polimorfismo, para a criação de aplicações em ambientes tridimensionais [11]. Além do polimorfismo (que é a capacidade de um método poder ser implementado de diferentes formas, ou mesmo de realizar coisas diferentes). a herança (que é o mecanismo pelo qual uma classe pode estender outra classe, aproveitando seus comportamentos e variáveis possíveis) é outro conceito da programação orientada a objeto, da qual o grafo de cena pode se beneficiar. Assim, o polimorfismo permite tratar objetos semelhantes de uma maneira uniforme, sendo que cada objeto responde de uma forma diferente para uma mesma mensagem [12].

Por ser uma biblioteca da linguagem Java, foi o sistema gerador de imagens escolhido. Os detalhes da escolha da linguagem Java serão descritos mais a frente, no capítulo 6.

3 Instrumentos geotécnicos e cálculo da tendência do movimento do solo

O gerenciamento de integridade de uma grande malha de dutos requer a aquisição, transmissão, armazenamento análise, e controle de uma grande quantidade de dados [13].

Existem vários instrumentos geotécnicos para calcular a tendência do movimento do solo. Para este trabalho utilizaremos os dados de inclinômetros. Como já foi dito antes, o inclinômetro registra os deslocamentos do solo onde ele está posicionado.

Em uma área de monitoramento são distribuídos alguns inclinômetros. Nestes pontos o deslocamento é conhecido através da leitura do instrumento, mas para ter noção do comportamento do resto terreno é preciso interpolar os dados a partir dos pontos conhecidos.

3.1 Interpolação de Dados

Como os inclinômetros realizam medições pontuais de deslocamento, é necessário dispor de algum método para conhecer os deslocamentos dos pontos onde não existem medições.

Um método para a análise de dados se baseia na interpolação destes dados. Assim os valores intermediários dos dados são preservados, e o resultado final é uma superfície contínua de dados mais suavizados, minimizando os contrastes entre os polígonos [14].

A interpolação é o conhecido processo de estimar os valores de uma função $y(x)$ para valores de argumento entre x_0, \dots, x_n sendo conhecidos os valores y_0, \dots, y_n [10], ou seja, a partir de valores amostrados em algumas células, precisamos estimar os valores para as outras células que não tem valores amostrados O raciocínio que está na base da interpolação é que, em média, valores do atributo tendem a ser similares em locais mais próximos do que em locais mais afastados.

3.2 Algoritmos para fazer a interpolação do terreno

A Geoestatística é uma área que inclui uma grande variedade de técnicas de estimação [14]. Para este trabalho foram estudados os seguintes algoritmos para

interpolação dos dados dos instrumentos: Inverso do quadrado da distância, análise do vizinho mais próximo, ambos baseados na localização (interpolação espacial).

Partindo-se de uma visão ampla e geral, o conceito que norteia a base teórica da interpolação espacial é a similaridade. Nessa linha de raciocínio, os valores de pontos próximos no espaço têm maior probabilidade de serem parecidos do que os pontos que estão mais afastados. A interpolação espacial, portanto, assume que os atributos dos dados são contínuos e espacialmente dependentes. Estas considerações permitem o desenvolvimento dos métodos de interpolação espacial [15].

O inverso do quadrado da distância . É um método que se aplica a um só local, por isso se chama, interpolador local, determinístico e exato. Regularmente usam-se em Sistemas de Informação geográfica para conceber mapas raster com base em dados pontuais. O algoritmo do Inverso do Quadrado da Distância determina estimativas de valores desconhecidos dependendo dos valores vizinhos. O Inverso do Quadrado da Distância é uma técnica para interpolar atributos a partir de valores conhecidos dos mesmos atributos em lugares próximos, e é dado pela fórmula:

$$I_A = \frac{\sum_{i=1}^{np} (I_i \cdot 1/d_i^2)}{\sum_{i=1}^{np} (1/d_i^2)}$$

sendo:

I_A = valor interpolado em um ponto A

np = total de pontos com dados medidos

I_i = valor amostrado em i (i variando entre 1 e np)

d_i = distância entre os pontos A e i.

A interpolação pelo vizinho mais próximo é feita definindo as zonas de influência de cada ponto amostrado. Na interpolação pelo vizinho mais próximo, a seleção do ponto que será utilizado para estimar o valor do fenômeno no ponto não amostrado é feita com base no vizinho mais próximo, ou seja, para cada ponto é atribuído o valor da amostra mais próxima a este ponto [15]. Uma maneira de calcular a zona de influência de cada ponto amostrado é através do diagrama de Voronoi, que gera uma divisão equidistante entre os pontos.

Na matemática, um diagrama de Voronoi (do matemático russo Georgy Voronoy) é uma decomposição de um espaço métrico em regiões de acordo com a distância a determinados pontos. Dado um conjunto A de n pontos no espaço, queremos determinar para cada ponto p de A qual é a região $V(p)$ dos pontos do plano que estão mais próximos de p do que de qualquer outro ponto em A [16]. A figura 3.1 mostra um exemplo de diagrama de Voronoi.

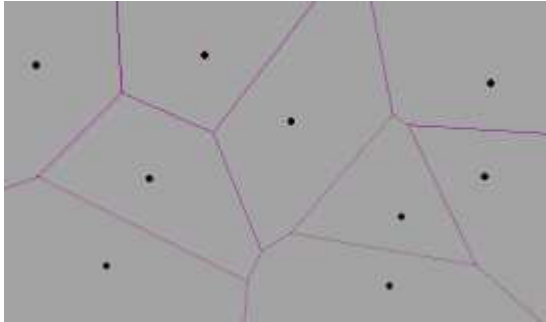


Figura 3.1 - Exemplo de diagrama de Voronoi

Depois de gerado o diagrama, o modelo passa a ficar dividido em tantas células quantos pontos amostrados existam. Cada ponto não amostrado tem o seu novo valor calculado baseado no valor do ponto amostrado de sua célula.

4 Ambiente de tomada de decisões

O ambiente de tomada de decisões proposto neste trabalho é composto por uma mesa sensível ao toque de uma caneta especial onde podem ser visualizados e manipulados arquivos de imagem e texto, com o auxílio e de uma tela onde pode ser visualizado um modelo tridimensional estereoscópico do terreno sendo analisado. Todo o ambiente é controlado pelo sistema sendo executado em um computador com duas saídas gráficas, uma direcionada para a mesa, e a outra direcionada para a tela.

4.1 Mesa sensível ao toque

A mesa sensível ao toque é um dispositivo de interface homem-máquina, que consiste de uma tela de plasma 52 polegadas deitada na posição horizontal, com capacidade de receber estímulos de uma caneta especial (captura de posição e toque). Esta capacidade é conferida com a utilização de um dispositivo especial: *mimio Interactive Stylus*. Este dispositivo atua como um *mouse*, permitindo a manipulação das funções do computador através da tela, mais detalhes deste produto pode ser visto em [17].

O sistema executado na mesa, é uma interface de interação desenvolvida em JavaFX.

O sistema permite que sejam abertos para visualização arquivos de imagem e arquivos textos. Estes arquivos são manipulados na mesa, podendo ser ampliados ou reduzidos, e movimentados pela extensão da mesa. Outra funcionalidade do sistema é permitir ao usuário acionar a visualização tridimensional estereoscópica do modelo. Na própria mesa é possível interagir com o modelo tridimensional, em uma área delimitada específica. Utilizando esta área, é possível rotacionar, transladar e aproximar ou afastar o modelo na tela. Na figura 4.1 é possível ver o sistema que roda na mesa, bem como a área para interagir com o modelo tridimensional (retângulo inferior, ao lado dos botões).



Figura 4.1 - Sistema gerenciador da mesa de interação

4.2 Visualização estereoscópica

Estereoscopia é um fenômeno natural que ocorre quando uma pessoa observa uma cena qualquer. A estereoscopia é a simulação de duas imagens da cena que são projetadas nos olhos em pontos de observação ligeiramente diferentes (a distância entre os olhos), o cérebro funde as duas imagens, e nesse processo, obtém informações quanto à profundidade, distância, posição e tamanho dos objetos, gerando uma sensação de visão de 3D. O termo estereoscopia, portanto, diz respeito à visualização tridimensional, a partir da visão de um mesmo elemento a partir de dois pontos de vista ligeiramente diferentes, cada um através de um dos dois olhos [18]. A estereoscopia é um fenômeno que faz com que uma pessoa tenha impressão de profundidade ao observar uma cena.

Para gerarmos uma visão estereoscópica, é necessário casar duas imagens distintas, uma para cada olho do observador. As imagens geradas são referentes ao mesmo modelo com uma pequena diferença do ponto de vista, simulando a distância entre os olhos.

As imagens geradas são mandadas para dois projetores, com as projeções sobrepostas. Na figura 4.2 podemos observar as duas imagens geradas do modelo, com pequena diferença de ponto de vista.

Na frente da lente de cada projetor é colocado um filtro de luz polarizado. Cada um dos filtros tem a polarização rotacionada 90 graus em relação ao outro. O observador utiliza um óculos com lentes polarizadas (diferentes em 90 graus para cada olho), desta maneira cada olho enxerga a projeção de somente um projetor. Este tipo de estereoscopia é conhecido como passiva.

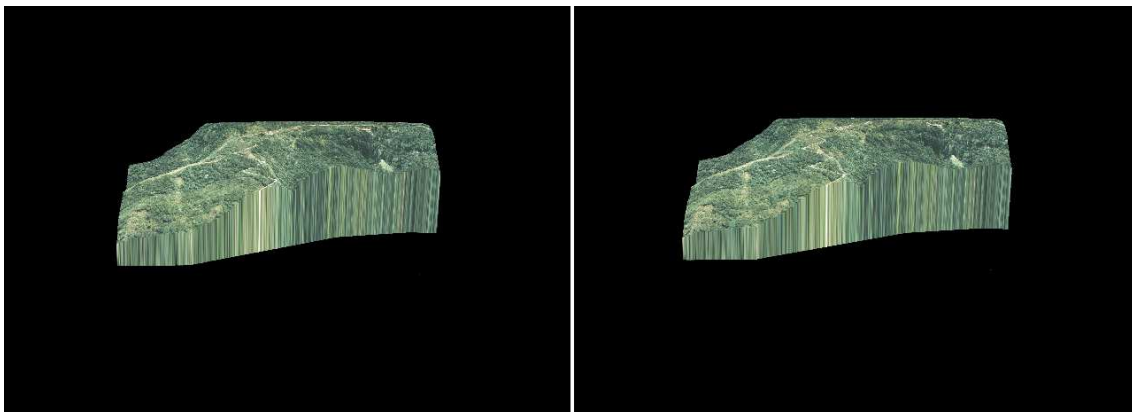


Figura 4.2 – Imagens geradas para o olho esquerdo e para o olho direito do mesmo modelo.

5 Metodologia Proposta

A metodologia proposta neste trabalho é dividida em três partes:

- A primeira etapa consiste na criação do ambiente de tomada de decisões;
- A segunda consiste na visualização estereoscópica do terreno, definindo as etapas necessárias para adquirir os arquivos, contendo o modelo digital do terreno e a textura, os dados dos inclinômetros, e, a partir destas entradas, são desenvolvidos os algoritmos de interpolação e visualização;
- A terceira consiste nos testes de usabilidade feitos com usuários em potencial do sistema.

5.1 Criação do ambiente de tomada de decisões

Esta é a parte inicial do sistema, que consiste em uma tela branca que preenche toda a tela em formato de mesa. Esta tela branca passa a ser o ambiente de trabalho, e dentro dela estão inseridos outros componentes, que irão permitir ao usuário manipular arquivos e imagens, além de interagir com o modelo tridimensional. O ambiente pode ser visto na figura 5.1.

A seguir estão listados os componentes do ambiente:

- Área delimitada específica para manipulação do modelo tridimensional;
- Barra de imagens (parte inferior da tela onde ficam miniaturas das imagens a serem manipuladas);
- Botão “Abrir PDF” – permite que o usuário abra um arquivo do tipo pdf;
- Botão “Gerar 3D” – permite que o usuário visualize o modelo tridimensional estereoscópico;
- Botão “Carregar” – permite que o usuário carregue arquivos de imagens na barra de imagens;
- Botão “Limpar” – permite que o usuário exclua todas as imagens carregadas na mesa;
- Botão “Fechar” – permite que o usuário saia do sistema.

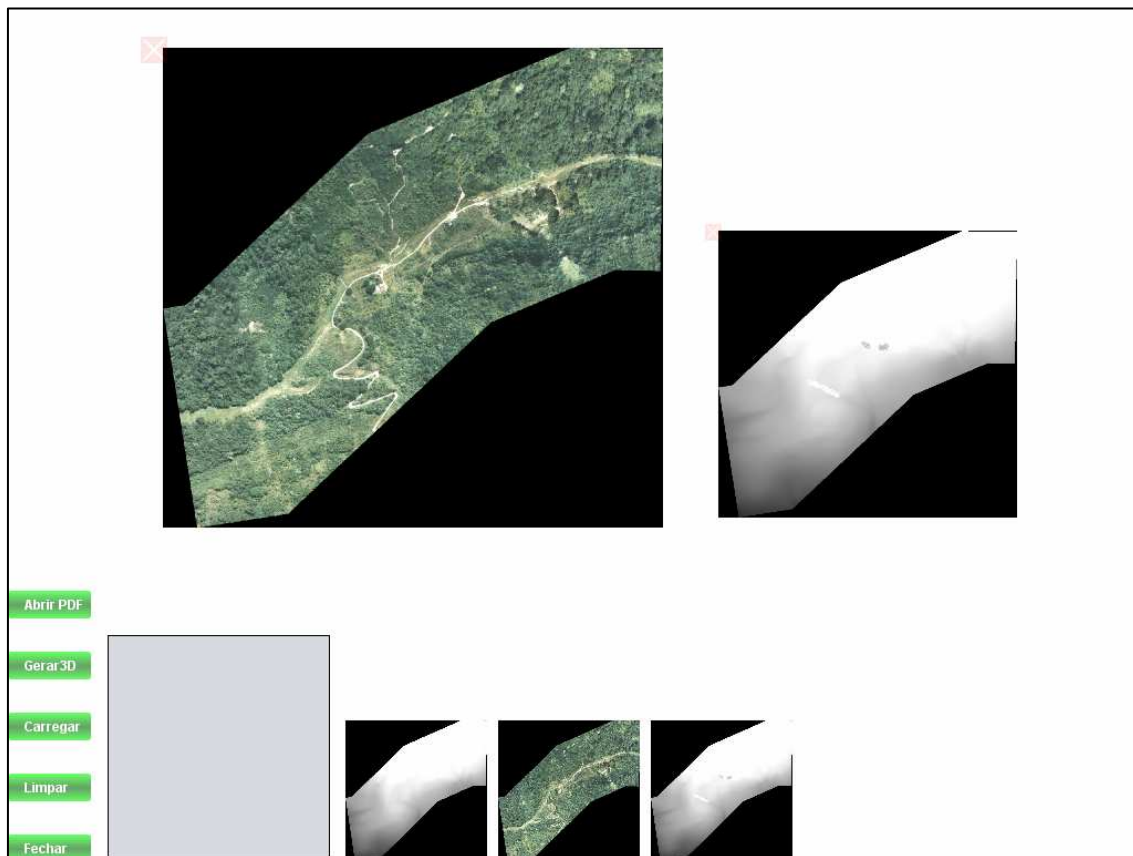


Figura 5.1 – Mesa de trabalho com seus componentes.

O sistema gerenciador da mesa é uma interface gráfica criada com a utilização da linguagem de script JavaFX. O sistema foi criado sob o paradigma da orientação a objetos. Para cada um dos componentes listados acima foi criado uma classe com atributos e métodos específicos.

A figura 5.2 mostra o Diagrama de Classes do sistema. Este diagrama contém as classes com seus métodos e atributos públicos.

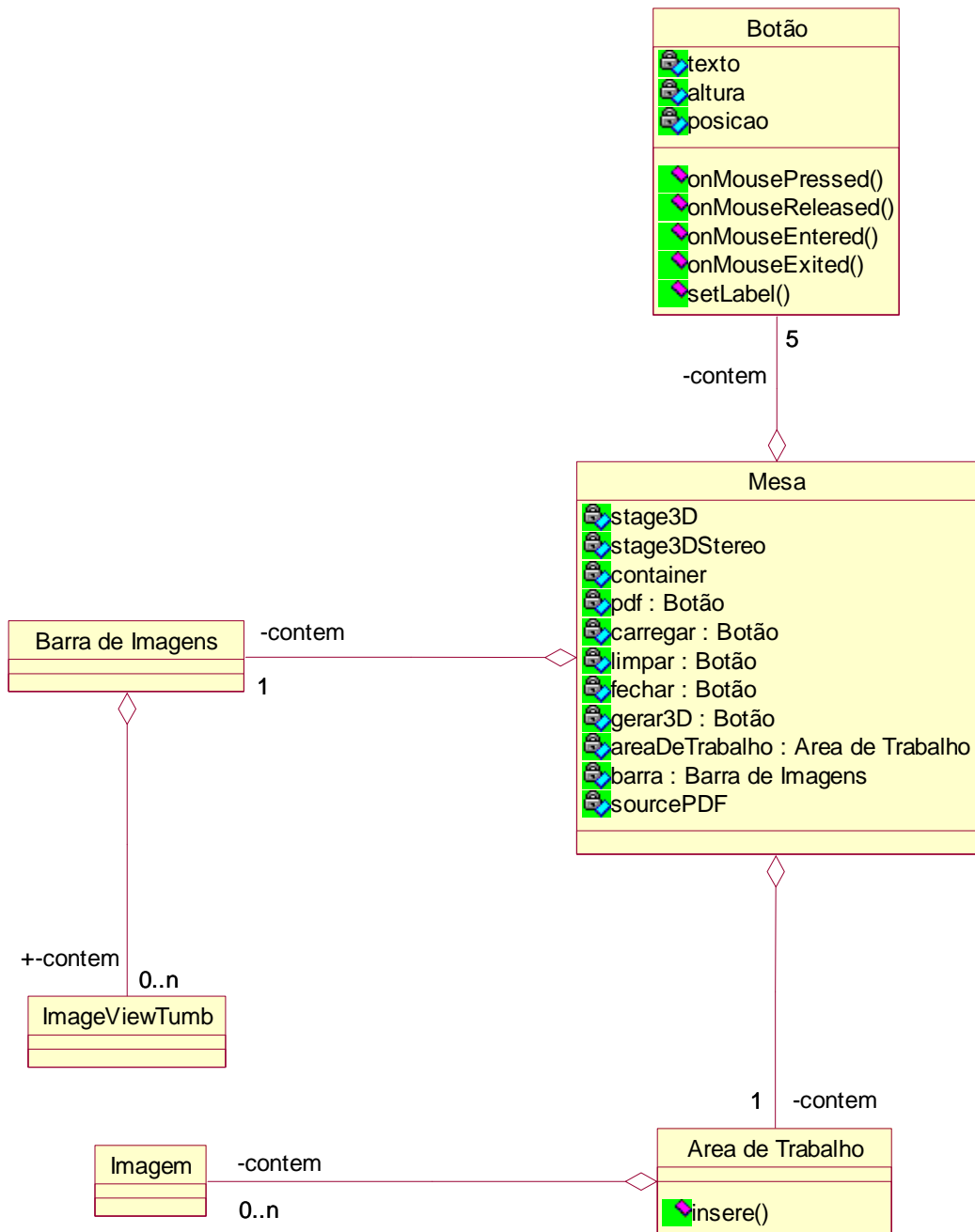


Figura 5.2 – Diagrama de classes de implementação do sistema gerenciador da mesa.

5.1.1 Mesa de Trabalho

Classe Mesa. Classe principal do sistema. Esta classe estende as funcionalidades da classe Stage do JavaFX para implementar a tela com o fundo branco, e é um container

para os outros objetos do sistema. A classe Stage é a classe onde são instanciados todos os objetos a ser visualizados em uma aplicação JavaFX.

Para que uma imagem selecionada na barra inferior seja levada para a área de trabalho. É feita aqui uma associação, no evento clique da caneta, para inclusão da imagem selecionada na barra na lista de imagens da área de trabalho.

5.1.2 Área para manipulação de modelo tridimensional

Classe AreaDeTrabalho. Classe responsável pela manipulação dos arquivos. Ela contém uma lista de Imagens e uma lista de componentes genéricos para os arquivos texto. Nesta classe estão presentes métodos para inserir imagens e componentes, bem como para excluir uma imagem ou componente específico, ou todos de uma vez.

Outra característica desta classe é que ela possibilita que as classes Imagem e ImagemViewThumb abram arquivos de imagem do tipo GEOTIFF. Estas duas classes estendem a classe nativa do JavaFx ImageView. Esta classe não consegue abrir imagens do tipo TIFF. Porém ela é capaz de gerar uma imagem a partir de uma cadeia de bytes. Desta maneira, nesta classe, quando instancia uma Imagem ou ImagemViewThumb, baseada em um arquivo TIFF, manda, ao invés do arquivo, a cadeia de bytes de que a imagem é formada, para isto usa métodos da biblioteca JAI, de manipulação de imagens.

5.1.2.1. Imagem

Classe Imagem. Classe responsável pela manipulação das imagens mostradas na área de trabalho. Nesta classe estão presentes os métodos para interagir com as imagens. Os métodos recebem eventos do *mouse* (caneta) para aumentar ou diminuir a escala; movimentar horizontalmente e verticalmente, e excluir a imagem da área de trabalho. Estes movimentos ficam sempre restritos à área de trabalho.

Um recurso visual utilizado nesta classe é a inserção na parte superior esquerda das imagens um ícone com um “X”, este ícone é comumente associado ao evento “Fechar” nos sistemas computacionais, isto facilita a percepção do usuário. Para que ele não interfira na observação da imagem é apresentado de modo semitransparente, tornando-se opaco nos momentos em que o *mouse* (caneta) esteja passando ou parado em cima de sua posição, esta característica é mostrada na figura 5.3.

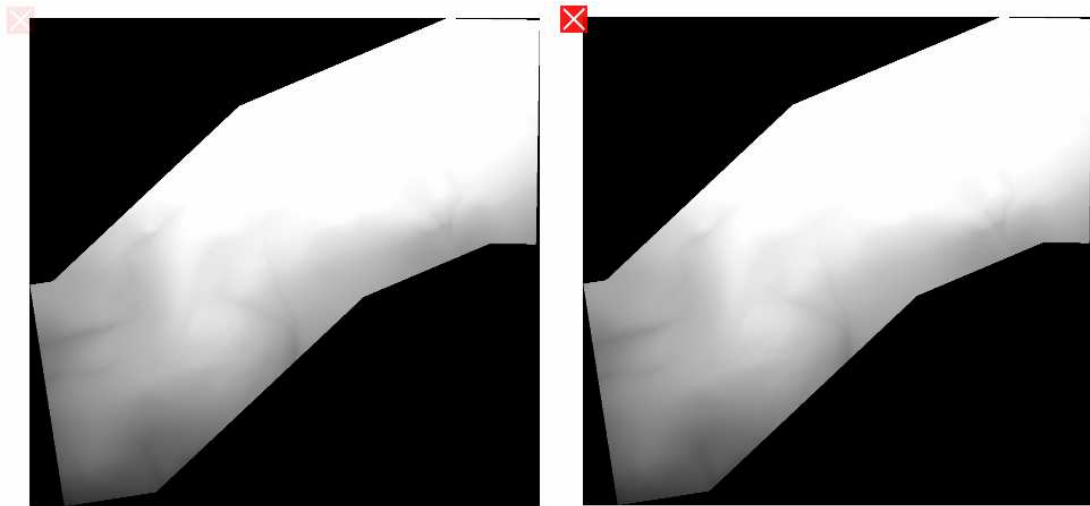


Figura 5.3 – Imagem com o ícone “Fechar” semitransparente e opaco.

5.1.3 Barra de imagens

Classe BarraDeImagens. Classe que mostra uma lista de imagens em miniatura na parte inferior da mesa. Nesta classe está presente um método para inserir imagens na lista. Um atributo da classe informa qual imagem foi selecionada pelo usuário. Para dar a sensação de que a imagem está sendo empurrada pela caneta, no evento de “clique” das imagens foi implementado um efeito de diminuição da escala, e no evento de “soltar”, a escala volta ao normal. Este mesmo efeito foi implementado nos botões. A barra de imagens aparece na parte inferior da figura 5.1.

5.1.3.1. Imagem Miniatura

Classe ImageViewTumb. Classe que estende a classe ImageView da biblioteca Javafx, para adicionar a opção de iniciar a imagem com um tamanho específico. Assim a imagem é criada como uma miniatura, quando inserida na barra de imagens.

5.1.4 Botão

Classe Botão. Classe que simula um botão. Cada botão tem a responsabilidade de disparar uma função do sistema. Estas funções são associadas ao evento “clique” do objeto. O efeito de que está sendo ativado, é implementado de maneira semelhante à explicada anteriormente, na classe BarraDeImagens.

5.1.5 Janelas de visualização 3D

Originalmente JavaFX não gera imagens tridimensionais, isto é feito no ambiente de programação Java3D. para executar o modelo no ambiente da mesa é preciso criar um canal de comunicação entre JavaFX e Java3D. Isto foi feito criando classes de janelas em JavaFX que encapsulam os objetos Java3D.

5.1.5.1. Janela3D

A classe Janela3D. Esta classe estende as funcionalidades da classe Stage do mesmo modo que a classe Mesa. Ela abre uma nova tela de visualização, direcionada para outra saída gráfica (o projetor) para mostrar o modelo 3D. contém um parâmetro para informar se a visualização será estereoscópica ou não. A figura 5.4 mostra o Diagrama de Classe do sistema, envolvidas na geração e controle das janelas tridimensionais, com seus métodos e atributos públicos.

5.1.5.2. Janela3dWrapper

Classe Janela3DWrapper, esta classe estende as funcionalidades da classe SwingComponente (que faz parte do núcleo da linguagem JavaFX), que é a classe que executa uma janela Java(Java3D). Ela recebe o parâmetro que informa sobre a visualização estereoscópica da Classe Janela3D. O método createJComponent retorna o WrapperVisualizador3D associado ao Container3D, estas duas classes serão descritas adiante.

5.1.5.3. Container3D

A classe Container3D faz a comunicação entre os dois ambientes: Java(Java3D) e JavaFX. para isto ela estende a classe JComponent do Java, que é a janela que pode ser executada pelo SwingComponent, conforme descrito no item anterior. Esta classe instancia um ou dois os objetos das classes WrapperVisualizador3D e Container3D, de acordo com o parâmetro que informa se a visualização será estereoscópica ou não. Estes objetos são os mesmos associados a classe Janela3DWrapper.

5.1.5.4. Container3DWrapper

A classe Container3DWrapper estende SwingComponent da mesma maneira que a classe Janela3DWrapper. A diferença é o seu uso. Aqui a funcionalidade da classe é capturar os eventos de *mouse* e teclado, executados na mesa para a janela sendo executada no projetor. A sua parte visível é um retângulo cinza (visto na figura 5.1) onde o usuário realiza a interação com o modelo tridimensional.

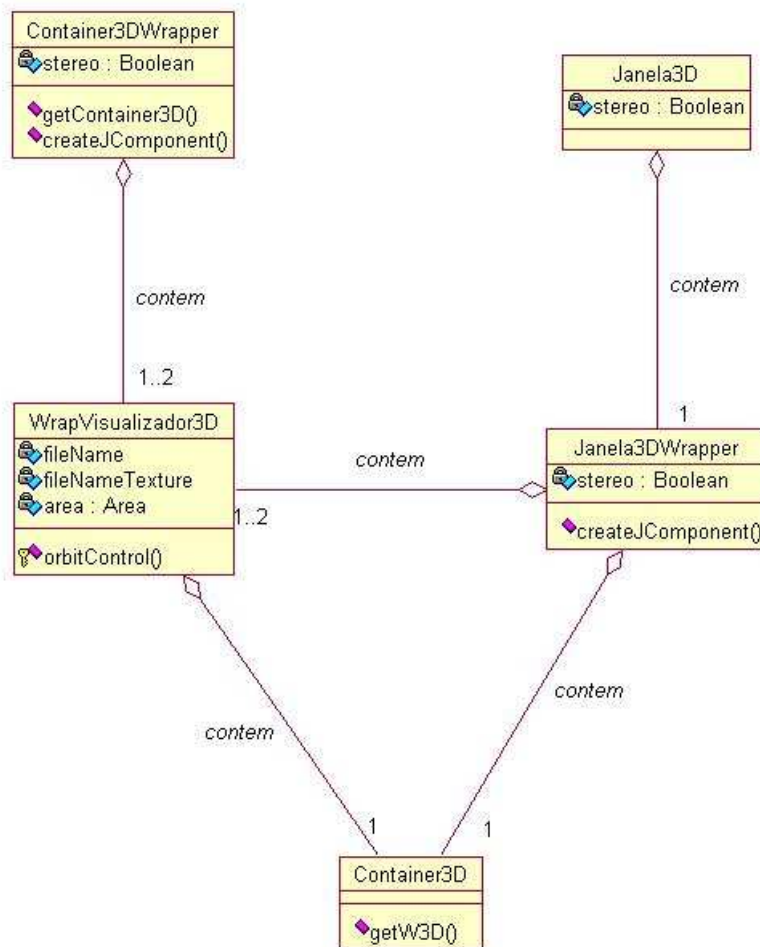


Figura 5.4 – Diagrama de Classes com as classes envolvidas na geração e controle das janelas tridimensionais.

5.2 Visualização estereoscópica do terreno

Nesta etapa o sistema precisa ler os arquivos de entrada de dados, que compõem o modelo digital do terreno:

- Arquivo contendo as altitudes em uma grade regular;

- Arquivo contendo a imagem fotográfica aérea do terreno;
- Arquivo com os valores pontuais, lidos dos inclinômetros.

Com estes arquivos o sistema gera dois modelos tridimensionais do terreno, estes modelos são gerados a partir de um ponto de vista diferente, distantes em torno de cinco centímetros. Cada um destes modelos representa a visão de um olho e são sobrepostos em um sistema de projeção estereoscópico.

O visualizador de terrenos é um gerador de modelos tridimensionais criado com a utilização da biblioteca Java3D. este módulo também foi criado sob o paradigma da orientação a objetos.

5.2.1 Modelo digital vindo do ArcGis

Os dados do modelo de terreno estudado foram exportados do programa ArcGis como uma grade regular. Esta grade é representada em um arquivo do tipo TIFF. A escolha em representar os dados dispostos em uma grade implica tirar vantagens de estruturas de dados simples e de rápido acesso como matrizes [6].

5.2.2 Leitura do Arquivo TIFF

Um modelo DEM pode ser representado em vários formatos de arquivos diferentes. A motivação de utilizar o formato TIFF, é que este formato é uma das saídas possíveis de ser gerada pelo ArcGis para uma grade regular.

O formato TIFF é um formato para armazenamento de imagem em mapa de bits (bitmap) bidimensional. A estrutura do mapa de bits é similar à estrutura de uma grade regular.

Este formato permite uma fácil manipulação da sua estrutura de dados no ambiente de programação Java, através da biblioteca JAI que é muito bem documentada, e de fácil utilização. Além disto, a textura utilizada no modelo também pode ser importada de uma imagem no formato TIFF. Isto facilita a programação, por ser o mesmo tipo de arquivo a ser manipulado na geração do modelo (para a grade e para a textura).

Os arquivos TIFF de saída do ArcGis têm a representação da altura mapeada nos valores das cores da imagem, e os pontos da grade nos eixos X e Y são mapeados nas duas dimensões da imagem. A resolução do arquivo de alturas é de 900 x 862 pontos, e do arquivo de imagem é de 904 X 865. Nem todos os pontos do modelo tem valores

válidos, estes pontos são representados com valor nulo. Na imagem TIFF, estes pontos são as partes pretas, que no modelo tridimensional será representado como altura zero como pode ser visto na figura 5.5.

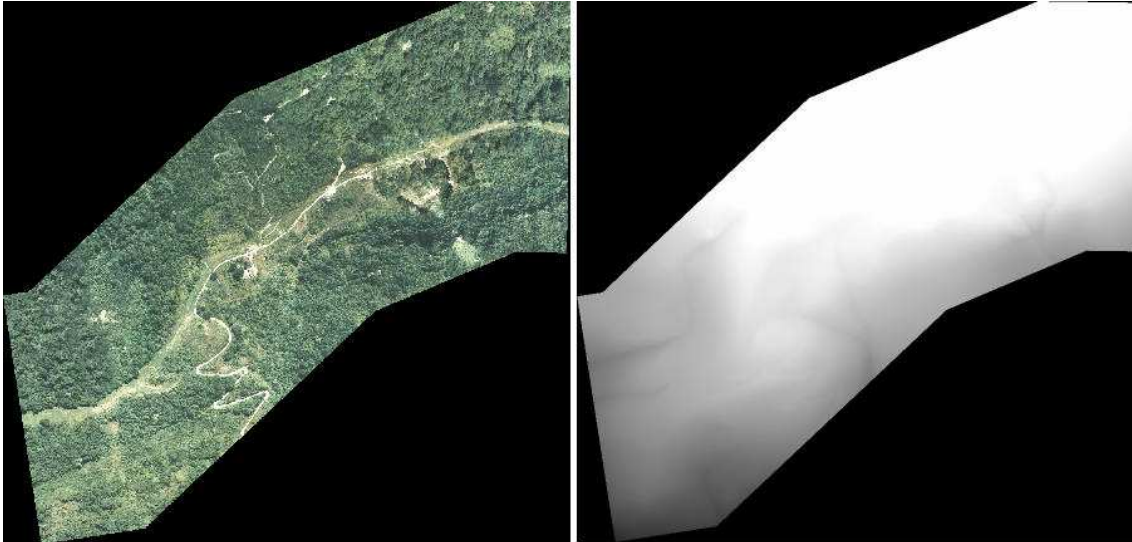


Figura 5.5 – valores nulos representados com a cor preta na imagem.

Esta abordagem gera um efeito de parede no modelo, como se houvesse uma queda brusca na fronteira entre os pontos com valores válidos e não válidos (figura 5.8). Este efeito não prejudica a visualização, e acaba por destacar a área estudada.

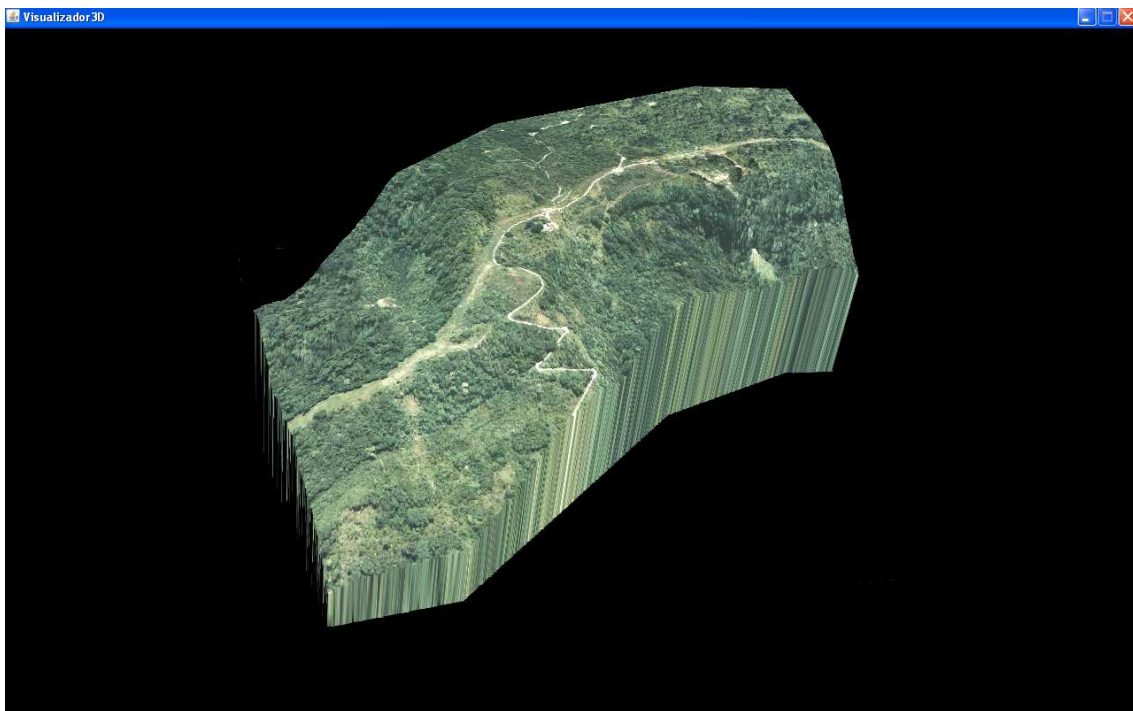


Figura 5.6 – Modelo 3D com efeito “parede”.

A figura 5.7, na página 32, mostra o Diagrama de Classe de implementação do sistema, envolvidas na importação do arquivo TIFF, com seus métodos e atributos públicos.

5.2.2.1. Classe Visualizador3D

Classe inicial do visualizador. Esta classe recebe os valores de tamanho da tela onde o modelo será gerado e cor de fundo de um arquivo de propriedades, e os arquivos TIFF com o mapa de alturas e a imagem aérea. Ela testa os parâmetros, testa se existe o Java3D instalado na máquina. Estando tudo certo ela cria uma janela onde será gerado o modelo e instancia um objeto da classe WrapVisualizador3D com os parâmetros recebidos e a janela.

Esta classe contém um método para retornar o objeto da classe WrapVisualizador3D, este método é útil para passar o modelo tridimensional para o JavaFX.

5.2.2.2. Classe WrapVisualizador3D

Classe responsável por criar o ambiente 3D. Esta classe recebe os arquivos TIFF com o mapa de alturas e a imagem aérea, e a janela onde será gerado o modelo. Ela cria o grafo de cena do modelo, chamando a classe Área, passando o grafo de cena como parâmetro, e posiciona o modelo e a câmera, e gera a cena. Esta classe estende a classe JPanel. A classe JPanel é uma das classes da implementação padrão do Java, e este é um tipo de classe esperado pelo JavaFx, quando quer mostrar uma “janela” Java dentro de sua interface.

Nesta classe também são construídos os controladores do modelo e seus comportamentos. Os controladores são os eventos de sistema que causarão algum efeito no modelo, e os comportamentos são as respostas ao evento. O método orbitControl registra os comportamentos desejados para o modelo, que são: rotação, translação e aproximação (e afastamento). Esta associação é feita de uma forma transparente com a utilização da classe OrbitBehavior, existente na biblioteca Java3D.

5.2.2.3. Classe Area

Classe responsável por controlar a criação dos modelos tridimensionais dos terrenos (o original e o interpolado) e dos inclinômetros. E agrupá-los. Na hierarquia do grafo de

cena, este elemento é o elemento pai dos modelos dos terrenos e dos inclinômetros, ou seja, sempre que movemos este elemento na cena, todos os elementos, hierarquicamente abaixo dele, na cena são movidos da mesma maneira. Para criar as instancias dos objetos terreno, que pertencem à classe Terreno, e são a representação do modelo digital, é passado como parâmetro um objeto da classe TIFFLoader, criado com os arquivos TIFF do modelo.

5.2.2.4. Classe TIFFLoader

Classe utilitária responsável por gerenciar a manipulação dos metadados contidos nos arquivos TIFF.

5.2.2.5. Classe Inclinometro

Classe responsável por criar as representações tridimensionais dos inclinômetros, e posicioná-las no modelo do terreno. Nesta classe foi implementado um método para desenhar o inclinômetro na posição correta do modelo tridimensional, mostrando a tendência do movimento.

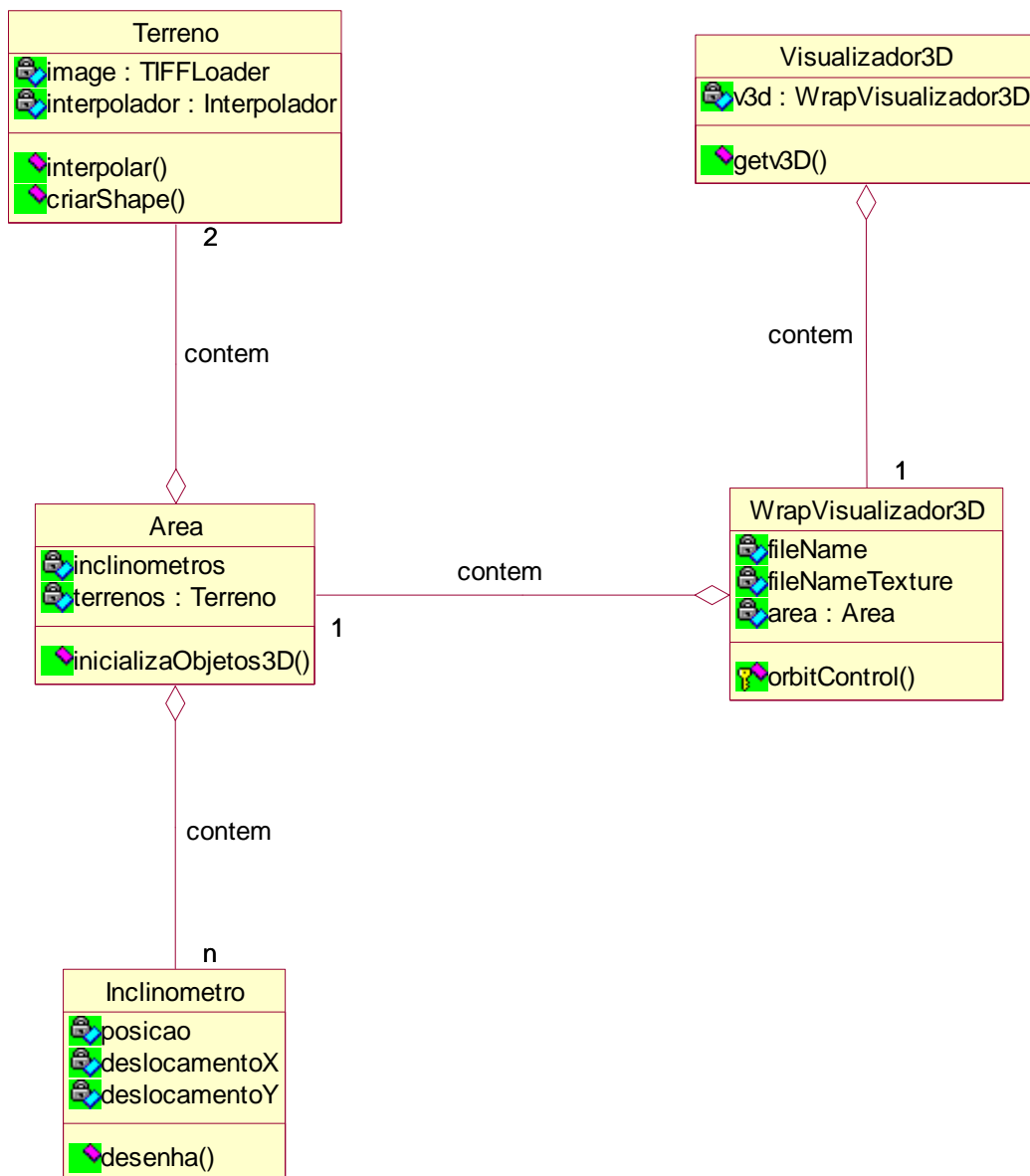


Figura 5.7 – Diagrama de Classes de Implementação das classes envolvidas na conversão do arquivo TIFF.

5.2.3 Dados dos Inclinômetros

Os dados dos inclinômetros são oriundos de uma base de dados do centro de pesquisas da Petrobras (CENPES), chamada GeoRisco. Esta base de dados está guardada em um SGBD (Sistema Gerenciados de Banco de Dados) Oracle.

Os dados utilizados para este trabalho são: a posição do inclinômetro (coordenadas x e y) no terreno; a altura, e o deslocamento (vetor).

5.2.4 Algoritmo de Visualização

Conhecendo o valor da distância d entre dois pontos de uma grade regular, o comprimento e a largura do modelo, os dados são arrumados em uma matriz $m [c, l]$, onde c é o comprimento e l a largura da matriz e os valores armazenados são os valores das alturas dos pontos, tendo a origem no ponto $p_0 = (0,0)$ em metros.

Então, para obter o valor (x, y, z) no espaço, para o modelo 3D de um ponto $p(px, py)$, situado a px metros da origem na direção leste-oeste e a py metros da origem na direção norte-sul no modelo será utilizada a seguinte fórmula: $p = (px, py, m[px/d, py/d])$.

Lembrando que px e py serão sempre valores múltiplos de d , pois a grade é uma grade regular, sendo então um conjunto discreto, onde só conhecemos valores para pontos onde as coordenadas x e y são sempre múltiplos de d .

Com os valores dos pontos no espaço (os pontos estão no arquivo TIFF, e são capturados utilizando métodos da biblioteca JAI, de manipulação de imagens) é feita uma chamada para um método específico da biblioteca j3d que implementa o algoritmo descrito acima. Além dos pontos, também é passado como parâmetro para o método, o arquivo com a imagem fotográfica aérea do terreno. A saída deste método é o modelo tridimensional do terreno que será desenhado pelo Java3D, utilizando a imagem fotográfica como textura.

O algoritmo de visualização foi implementado dentro da classe Terreno, vista nas figuras 5.7 e 5.8.

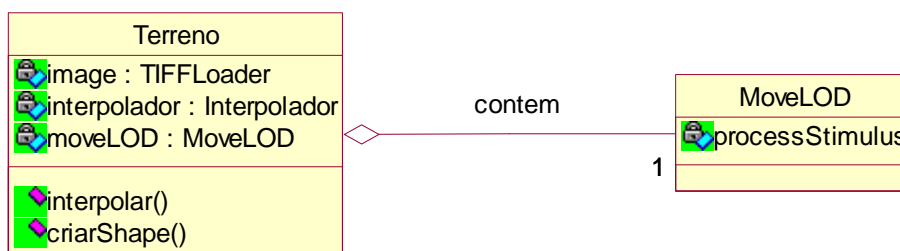


Figura 5.8 - Diagrama de Classe de Implementação com as classes envolvidas na geração do modelo

5.2.4.1. Classe Terreno

Classe responsável por criar os modelos tridimensionais de um terreno e de seu modelo interpolado. Nesta classe foi implementado o algoritmo responsável pela

geração do modelo, e pelo controle do LOD. Aqui foram utilizados métodos das bibliotecas j3d e JAI para ler os metadados dos arquivos TIF e transformá-los em um modelo tridimensional. Esta classe implementa também o modelo com menos detalhes para o LOD.

5.2.4.2. Implementação do LOD

Neste trabalho a técnica de LOD foi utilizada em dois momentos distintos para resolução de dois problemas diferentes. Para garantir o bom desempenho da aplicação durante a manipulação do modelo tridimensional, que é o modo normalmente onde é aplicada esta técnica, e para alterar a visualização entre os modelos original e interpolado.

Para tratar a questão do desempenho, foi adotada uma estratégia de utilização do LOD durante o movimento, com apenas dois níveis de detalhes, um para o modelo parado, e outro para o modelo sendo manipulado (rotação, translação e aproximação).

A geração do modelo com menos detalhes, para ser exibido quando estiver em movimento, foi feita a partir da grade do modelo original. O algoritmo consiste em desprezar o segundo ponto a cada dois pontos, tanto na direção x, quanto na direção y.

Portanto, como o tamanho do modelo (m) é dado pelo produto das linhas (l) pelas colunas (c), fórmula 1 da figura 5.9. Quando a quantidade de linhas e de colunas são pares, o algoritmo despreza a metade das linhas e colunas, gerando um modelo quatro vezes menor, fórmula 2 da figura 5.9. Quando a quantidade de linhas é par e a quantidade de colunas é ímpar, ou vice-versa, o algoritmo gera um modelo com o tamanho dado pela fórmula 3 da figura 5.9. Quando ambas as quantidades foram ímpares o algoritmo gera um modelo com o tamanho dado pela fórmula 4 da figura 5.9. Nos dois últimos casos o modelo tende a ser quatro vezes menor, à medida que l e c crescem.

1	$m = l * c$
2	$m = \frac{l}{2} * \frac{c}{2} \rightarrow m = \frac{l*c}{4}$
3	$m = \frac{l}{2} * \frac{c}{2} + 1 \rightarrow m = \frac{l*c + l*2}{4}$
4	$m = \frac{l+1}{2} * \frac{c+1}{2} \rightarrow m = \frac{l*c + l + c + 1}{4}$

Figura 5.9 - Fórmulas para cálculo do tamanho do modelo

No modelo utilizado para o trabalho, a malha original era formada por 900 colunas e 862 linhas. Esta malha gera um modelo com 775.800 pontos, e o modelo com menos detalhes foi gerado com 450 colunas e 431 linhas, gerando uma malha com 193.950 pontos (um total de quatro vezes menos pontos). As duas malhas podem ser observadas nas figuras 5.9 e 5.10. Nos testes da aplicação, esta simplificação do modelo foi suficiente para não ter perdas significativas de desempenho. O algoritmo para o LOD foi implementado dentro da classe MoveLOD, vista na figura 5.8.

Esta perda de resolução não afeta o processo de tomada de decisão, pois ela é temporária, só existindo durante o tempo em que o modelo está sendo movimentado.

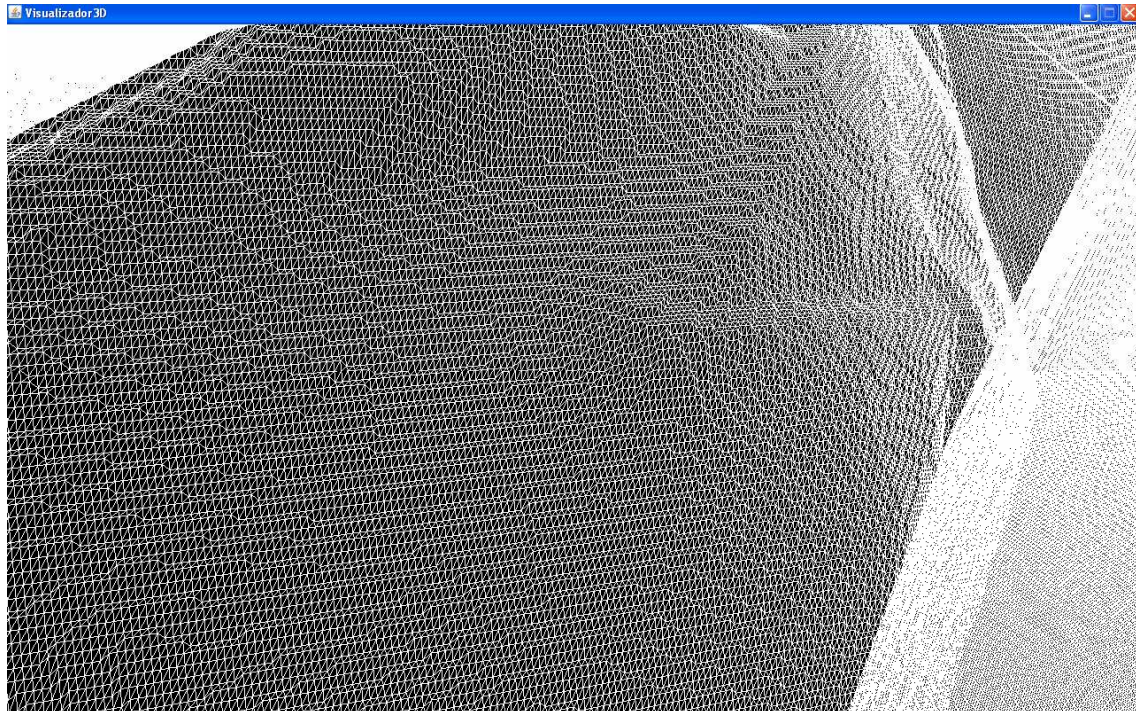


Figura 5.10 - Modelo com nível de detalhe original

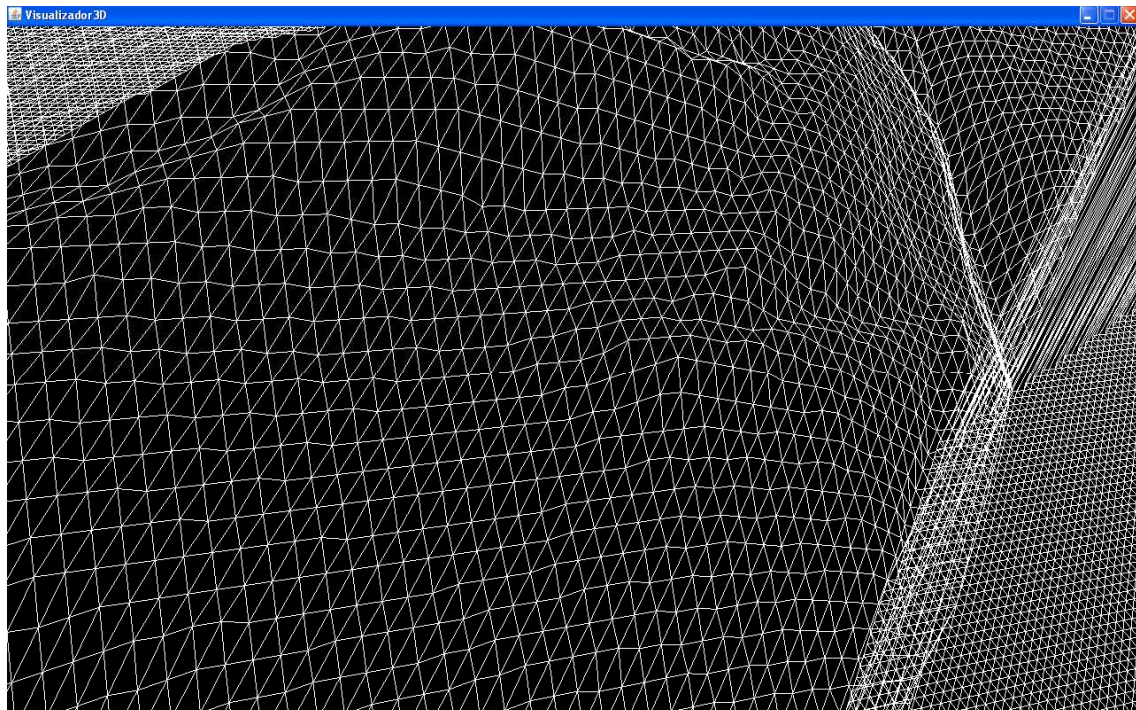


Figura 5.11 - Modelo com menos pontos para ser utilizado no LOD

5.2.4.3. Classe MoveLOD

Classe responsável por implementar a lógica do LOD. Esta classe estende a classe LOD já existente na biblioteca Java3D. Esta classe recebe como parâmetro os vários modelos para cada nível (no caso foram dois), e passa a gerenciar a apresentação do modelo correto na tela, a partir de um estímulo. No caso, o estímulo é a captura de um evento do *mouse* (caneta) sobre o modelo, pois são estes estímulos que geram seu movimento. Estes eventos são procurados em intervalos regulares de tempo, caso a procura encontre algum evento de *mouse*, a classe apresenta o modelo com menor nível de detalhe, caso contrário, ela apresenta o modelo com maior nível de detalhe.

5.3 Interpolação dos dados

Para a interpolação dos dados foi utilizado o algoritmo do vizinho mais próximo, pela geração de um diagrama de Voronoi, e para todos os pontos dentro de uma mesma célula, foi aplicada o mesmo valor de deslocamento do respectivo inclinômetro para cálculo dos dados.

A escolha deste método foi baseada na sua fácil implementação dentro do ambiente ArcGis, não fugindo do escopo deste trabalho. Caso se mostre necessário, futuramente, a utilização de outros métodos de interpolação, não será um grande problema, pois o programa desenvolvido utiliza a metodologia OO, e, como tem suas classes bem definidas (conforme mostrado nas figuras 5.7 e 5.8) apresenta um baixo grau de acoplamento. Desta maneira, outros métodos de interpolação podem tanto ser executados dentro do ambiente ArcGis quanto no sistema desenvolvido.

Uma das vantagens desta metodologia de programação é justamente o baixo acoplamento, tornando necessário apenas a implementação de outra classe especializada em realizar a interpolação e acoplá-la ao sistema. Este tipo de modularização permite inclusive que a utilização de mais de um método de interpolação e a comparação dos resultados obtidos. Esta comparação entre dois métodos não faz parte do escopo do trabalho, mas é uma possibilidade para um trabalho futuro.

O resultado da interpolação aplicada ao modelo é guardado em uma segunda imagem TIFF, com as mesmas características da primeira. Para mostrar o modelo gerado com os dados interpolados, foi utilizada uma técnica semelhante à de LOD: mudar o modelo a ser mostrado, a partir de um estímulo, só que em vez de um nível de detalhe diferente, é apresentado o modelo interpolado.

Para gerar este efeito, foi aproveitada a classe MoveLOD, acrescentando a espera pelo estímulo específico (tecla “Control”), e a inclusão do modelo interpolado. No processo de procura foi incluída a busca pelo evento de teclado da tecla “Control”, com a apresentação do modelo interpolado no caso de sucesso.

5.3.1 Classe Interpolador

Classe responsável por interpolar os pontos da malha, de acordo com os valores dos inclinômetros. Nesta classe, se encontram os métodos de interpolação de pontos. Estes métodos retornam um objeto da classe Terreno. Neste trabalho ela não foi utilizada, pois a interpolação foi feita no ambiente ArcGis.

5.3.2 Desenhando a malha derivada sobreposta

Com as duas estruturas de dados prontas (a grade original e a grade derivada com a interpolação) são gerados dois modelos, um com os dados originais, e um com os dados interpolados.

Ao executar o visualizador, o modelo mostrado é o original, para visualizar o modelo interpolado é preciso apertar e segurar uma tecla *control* que foi configurada para isto.

A técnica adotada para troca de modelo a ser visualizado (o original ou o interpolado) foi a mesma utilizada no LOD. A diferença aqui é apenas conceitual, pois ao invés de alternar entre modelos com menos e mais detalhes, a alternância é feita entre modelos com pequenas diferenças, porém com o mesmo nível de detalhe.

5.4 Testes de usabilidade

Esta etapa do processo metodológico trata como são feitos os testes de usabilidade, para isto é preciso definir o que é usabilidade, e como medi-la.

5.4.1 Usabilidade - Definição

Usabilidade é um termo usado para definir a facilidade com que as pessoas podem empregar uma ferramenta ou objeto a fim de realizar uma tarefa específica e importante. A usabilidade pode também se referir aos métodos de mensuração da usabilidade e ao

estudo dos princípios por trás da eficiência percebida de um objeto. Portanto, no caso de um sistema computacional, usabilidade é o quão fácil para um usuário interagir com o sistema.

Algumas características podem ajudar a definir a usabilidade do sistema. São elas: facilidade de aprender, facilidade de memorizar, erros, eficiência e satisfação [19]. A usabilidade é tratada por algumas normas do padrão ISO. A parte 11 da norma ISO 9241 redefine usabilidade como "a capacidade de um produto ser usado por usuários específicos para atingir objetivos específicos com eficácia, eficiência e satisfação em um contexto específico de uso" [20]. Segundo o mesmo padrão ISO 9241, a usabilidade pode ser especificada ou medida segundo outras perspectivas, como por exemplo:

- Facilidade de aprendizado - o usuário rapidamente consegue explorar o sistema e realizar suas tarefas;
- Facilidade de memorização - após um certo período sem utilizá-lo, o usuário não frequente é capaz de retornar ao sistema e realizar suas tarefas sem a necessidade de reaprender como interagir com ele;
- Baixa taxa de erros - o usuário realiza suas tarefas sem maiores transtornos e é capaz de recuperar erros, caso ocorram [20].

Podemos dizer que testar a usabilidade é mensurar quais dificuldades os usuários específicos encontram ao utilizar um software (facilidade de aprendizado). E, também, mensurar a taxa de erros cometidos por estes usuários (taxa de erros), e quão rápido estas dificuldades e erros tendem a desaparecer (facilidade de aprendizado e memorização).

5.4.2 Medições

Para especificar ou medir a usabilidade, é necessário identificar as metas e decompor eficácia, eficiência e satisfação, e os componentes do contexto de uso (usuário, tarefa, equipamento, ambiente) em atributos mensuráveis e verificáveis [20]. As metas devem ser descritas e podem ser decompostas em submetas.

Os relacionamentos entre os componentes estão ilustrados na figura 5.11.

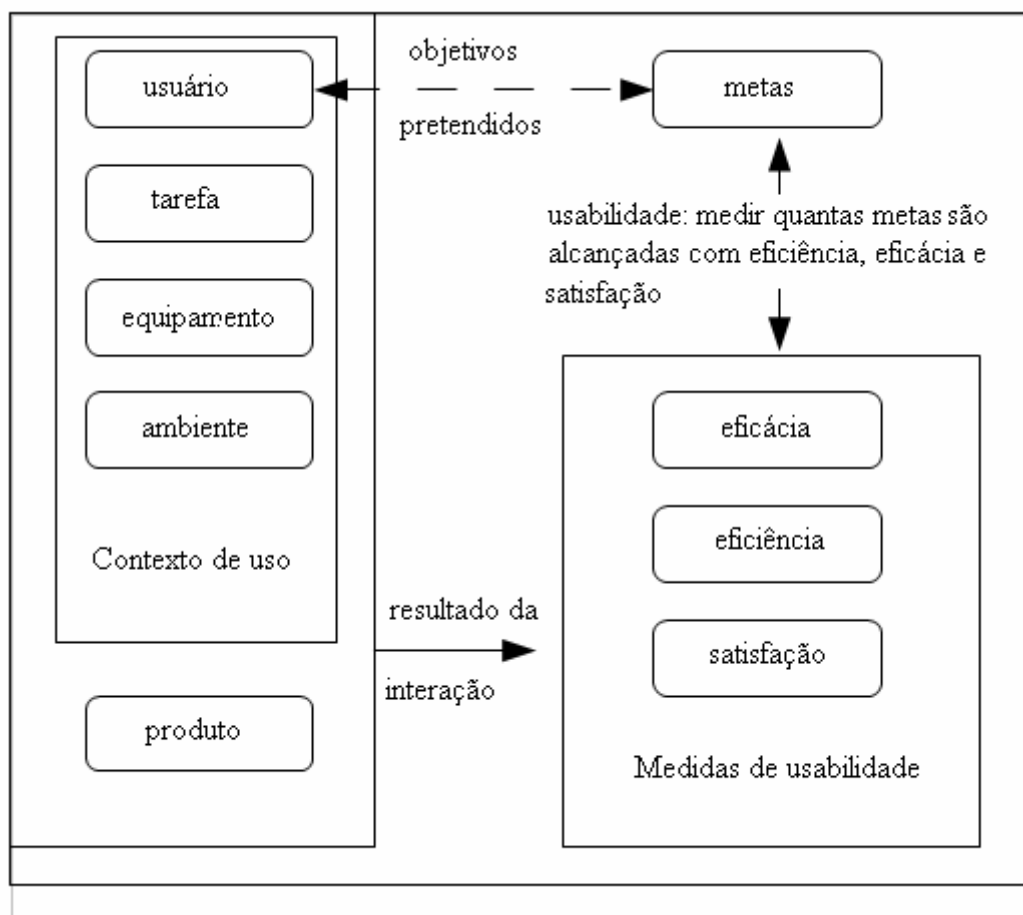


Figura 5.12 Framework de usabilidade – ISO 9241 -11

Neste trabalho a meta a atingir era permitir que os usuários trabalhem dentro de um ambiente de tomada de decisão, e possam visualizar o modelo e arquivos de uma maneira que tenham sua atenção voltada apenas para o problema discutido, sem se preocupar com o software responsável pelo gerenciamento do ambiente.

A melhor maneira para realizar as medições é realizar testes do protótipo com usuários, e aplicar um questionário de avaliação. Este questionário tem a intenção de medir os três parâmetros definidos pelo padrão ISO 9241: eficiência, eficácia e satisfação.

A eficácia, relaciona as metas do usuário com a precisão e completude que estas metas são alcançadas. A eficiência relaciona o nível de eficácia, com os recursos gastos. A satisfação mede o quanto os usuários estão confortáveis ao utilizar o sistema.

6 Ambiente Computacional

O ambiente computacional configurado para a utilização do software produzido para essa dissertação envolve ferramentas de código aberto. A exceção é a ferramenta Gis: o ArcGis, que é o gerador dos arquivos de entrada (arquivos TIFF com mapas de alturas e imagens fotográficas do terreno). A escolha desta ferramenta GIS foi baseada no fato de já ser utilizada na Petrobras, pela gerência responsável pelos dados. Qualquer outra ferramenta GIS poderia ser utilizada em seu lugar, bastando apenas que as saídas sejam feitas no formato TIFF.

A seguir são apresentadas a arquitetura do sistema, as ferramentas utilizadas e os módulos de execução do sistema.

6.1 Computador Utilizado para os Testes

O computador utilizado nos testes tem a seguinte configuração: Processador Dual-Core AMD Opteron™ de 3.00 GHz, com 2,5 GB de RAM, com uma placa gráfica NVIDIA Quadro™ FX 5600.

6.2 Arquitetura Geral do Sistema

O fluxo dos dados para geração do modelo tridimensional começa no ambiente ArcGis. Ele recebe com entrada de dados, curvas de nível do terreno a ser visualizado, foto aérea da área, e os dados dos inclinômetros. Em um primeiro passo, são gerados dois arquivos de saída, um arquivo GEOTIFF contendo o TIN, e um arquivo TIFF simples contendo a foto aérea, que será usado como textura do modelo tridimensional. Este é o fluxo vermelho da figura 6.1. Em um segundo passo, os dados dos inclinômetros são interpolados e então é gerado um novo TIN, também no formato de um arquivo GEOTIFF. Este é o fluxo verde da figura 6.1.

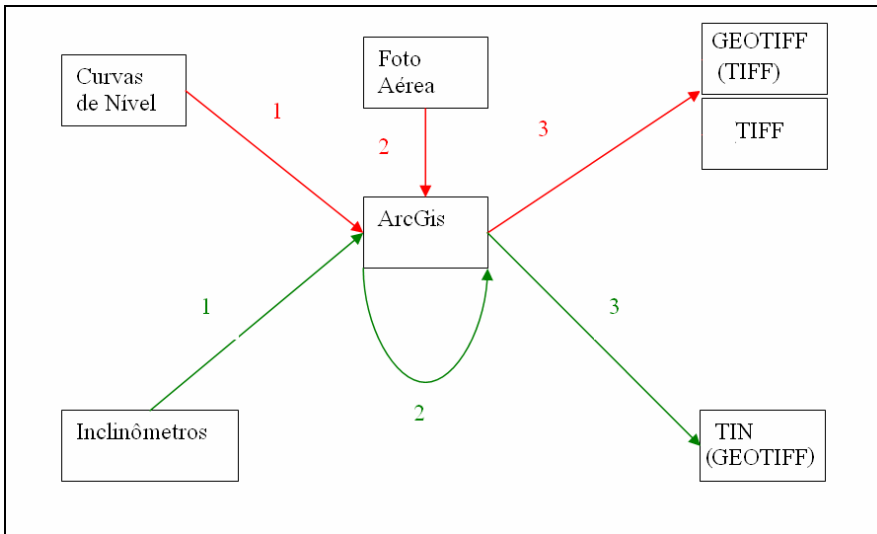


Figura 6.1- Fluxo dos dados para geração dos modelos

Estes arquivos serão dados de entrada para o aplicativo gerado para o visualizador tridimensional desenvolvido para o protótipo. Tanto os arquivos de imagem, quanto o próprio visualizador podem ser visualizados no protótipo, servindo como dados de entrada para este, como visto na figura 6.2.

Além destes dados, quaisquer outros arquivos de imagens podem ser visualizados no protótipo.

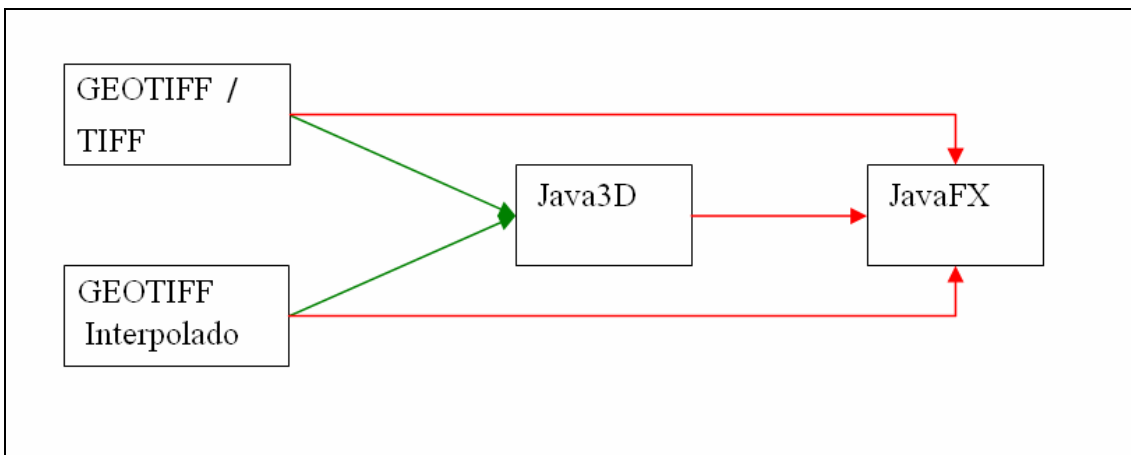


Figura 6.2 - Fluxo dos dados para visualização dos modelos

6.3 Ambiente de Desenvolvimento

O desenvolvimento do sistema foi feito em um computador executando o sistema operacional Windows XP. Foi utilizando a linguagem Java, utilizando o ambiente de programação Netbeans 6.5. a linguagem Java foi estendida com as bibliotecas Java3D e

JavaFX. Os dados das malhas foram provenientes do ArcGis. O sistema foi desenvolvido seguindo o Paradigma de Orientação a Objetos (POO), e levou em consideração que todos os objetos podem ser manipulados pela caneta especial do componente *mimio*.

6.3.1 Linguagem de Programação Java

A linguagem de programação escolhida para desenvolver o visualizador foi Java. A escolha desta linguagem deveu-se a alguns fatos:

- É uma linguagem que segue o paradigma da orientação a objetos, que permite trabalhar em um nível mais elevado de abstração;
- Possui uma biblioteca para programação em 3D baseada em grafo de cena (Java 3D);
- Possui uma biblioteca para manipulação de imagens (JAI);
- Possui um módulo para programação de interface rica (JavaFx);
- Tanto a linguagem quanto as bibliotecas utilizadas são bem documentadas;
- São gratuitas, tanto a linguagem quanto as bibliotecas utilizadas;
- Possui vários ambientes integrados de desenvolvimento disponíveis.

6.3.2 Ambiente de Programação - Netbeans

Para a codificação do programa foi utilizado um IDE (Integrated Development Environment – Ambiente de desenvolvimento integrado em inglês). Um IDE é um ambiente de programação que reúne características e ferramentas de apoio ao desenvolvimento de *software* com o objetivo de agilizar este processo, e aumentar a produtividade.

O NetBeans é completamente escrito em Java, mas pode suportar qualquer linguagem de programação, e foi o IDE escolhido pelos seguintes motivos:

- É o IDE indicado pela SUN (Criadora e mantenedora do Java);
- Tem boa documentação;
- Tem grande comunidade de usuários;
- Tem um grande número de módulos para estender suas funcionalidades;
- É um produto livre, sem restrições de uso.

6.3.3 JAI

JAI é uma biblioteca da linguagem Java que fornece uma arquitetura para trabalhar com arquivos de imagens [21]. Com JAI é possível abrir vários tipos de formatos de imagens (como TIFF), e manipulá-las.

Uma das grandes utilidades na biblioteca é a possibilidade de acesso aos metadados da imagem como uma matriz de pontos. É exatamente nesta estrutura de dados que é guardada a grade regular do terreno fornecida pelo ArcGis no arquivo de formato TIFF de saída. Com a utilização desta biblioteca, a manipulação dos dados da grade do terreno torna-se muito simples, sendo preciso somente utilizar métodos já existentes.

6.3.4 Java3D

Java3D é uma extensão da linguagem Java para apresentação de Gráficos em três dimensões. Ela é uma biblioteca que consiste em uma hierarquia de classes Java que serve como interface para o desenvolvimento de sistemas gráficos tridimensionais. Possui construtores de alto nível que permitem a criação e manipulação de objetos geométricos, especificados em um universo virtual. O desenvolvimento de um programa Java3D resume-se na criação de objetos e no seu posicionamento em um grafo de cena, que os combina em uma estrutura de árvore. Java 3D é uma interface criada para o desenvolvimento de aplicações gráficas tridimensionais em Java, executada no topo de bibliotecas gráficas de mais baixo nível, tais como OpenGL e Direct3D[22], conforme ilustra a Figura 6.3.

Para a criação dos modelos a biblioteca Java3D foi estendida com um conjunto de funcionalidades encontradas na biblioteca j3d, que é disponibilizada pela comunidade de programadores na internet, em www.j3d.org.

Como já foi dito anteriormente, no capítulo 2, para os modelos gerados para este trabalho, Java3D teve um desempenho suficientemente bom. O desempenho da aplicação gráfica foi medido calculando o FPS (sigla em inglês), que significa o número de quadros por segundo de um dispositivo de geração de imagem. Frame rate, é a medida da frequência em que um dispositivo de processamento de imagens produz consecutivas imagens chamadas de quadros (Frames em inglês). O termo se aplica igualmente para gráficos de computador, vídeo câmeras, e sistemas de captura de movimento. Frame rate é na maior parte das vezes expressada em quadros por segundo (FPS). Normalmente é utilizado como instrumento de comparação entre o desempenho

de Placas de Vídeo, sendo as mais rápidas as que geram mais Quadros por Segundo (FPS em inglês). Uma taxa desejável para ter uma boa sensação de visualização é de 60 FPS.

Nos testes realizados para este trabalho, Java3D demonstrou um desempenho bom o suficiente para gerar e manipular o modelo digital tridimensional do terreno. Este desempenho, medido em fps ficou sempre acima de 60 fps, para o computador utilizado nos testes, descrito no capítulo 7. Além disto, gerou uma boa qualidade de visualização.

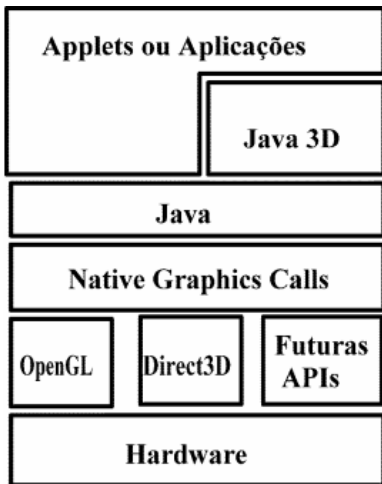


Figura 6.3 - Esquema de execução do Java3D

6.3.5 JavaFX

JavaFX é uma linguagem interpretada orientada a objeto, voltada para construção de interfaces que permite aos desenvolvedores e criadores de conteúdo construir mais facilmente aplicações ricas, tanto para internet (“rich internet applications”), quanto para *desktops*, para dispositivos móveis e para televisão. A utilização do JavaFX para a construção da interface da mesa, foi devido aos seguintes fatos:

- Simplicidade de programação;
- Ter uma sintaxe semelhante à do Java;
- Compatibilidade com Java;
- Estar integrada ao ambiente de programação Netbeans;
- É gratuita;
- Tem boa documentação.

6.4 ArcGis

ArcGIS é o nome de um grupo de programas que constitui um Sistema de informação geográfica. É produzido pela ESRI. Estes programas são usados para criar, importar, editar, buscar, mapear, analisar e publicar informações geográficas[11]. A escolha deste aplicativo para trabalhar com os dados geológicos utilizados neste trabalho deveu-se ao fato dele já ser utilizado pela gerência responsável pelos dados na Petrobras.

O ArcGis fornece um ambiente de trabalho escalável para implementar sistemas do tipo SIG, para um único ou vários usuários em um computador pessoal ou em servidores através da Web.

O ArcGis é uma coleção integrada de programas SIG, que juntos compõem um SIG completo. O módulo utilizado neste trabalho foi o ArcGisDesktop, que é um pacote integrado de aplicações SIG, para o sistema operacional Windows, que em conjunto podem realizar qualquer tarefa inerente a um SIG. Ele é dividido em três níveis possíveis:

- ArcView – focado em analisar e mapear dados;
- ArcEditor – adiciona a capacidade de edição avançada de informações geográficas e criação de dados.
- ArcInfo - contem as funcionalidades completas dos níveis anteriores mais ferramentas adicionais para geoprocessamento.

7 Estudo de Caso

Para realizar o estudo de caso, foram utilizados dados oriundos de uma faixa de área de passagem de dutos da Transpetro (ORBIG49). Esta faixa tem a extensão de 1 quilômetro. Estes dados foram fornecidos da seguinte maneira:

- Uma grade regular com o mapa de altura, em formato TIFF. Esta grade tem a dimensão altura X largura com o intervalo representando x metros;
- Uma tabela com a posição e código de identificação dos inclinômetros;
- Uma grade regular com o mapa de altura interpolado, em formato TIFF. Esta grade tem a dimensão altura X largura com o intervalo representando x metros;
- Uma tabela com as leituras dos deslocamentos dos inclinômetros;

7.1 Gerando a malha

As malhas foram geradas pelo programa ArcGis. Os arquivos de saída para esta área foram os seguintes:

Dois arquivos do tipo TIFF contendo a grade com o mapa de alturas do terreno original e o mapa de alturas interpolado com os valores dos inclinômetros. Estes arquivos têm ambos os tamanhos de 3.367 KB, e tem a resolução de 1890 x 1820 pixels, que representam as colunas e linhas das grades. Estes arquivos podem ser vistos nas figuras 2.1 e 2.2

Um arquivo do tipo TIFF contendo a imagem fotográfica aérea da área. Este arquivo tem o tamanho de 767 KB, tendo a resolução de 904 x 865 pixels. O Java3D resolve as diferenças de resolução entre a textura e o modelo de um modo transparente. Este arquivo pode ser visto na figura 2.3.

7.1.1 Curvas de nível

A geração das malhas começa com um arquivo contendo as curvas de nível do terreno, conforme visto na figura 7.1. A partir deste arquivo é criado um TIN (do inglês *triangulated irregular network* – rede triangular irregular) que é uma estrutura de dados digitais utilizados para a representação de uma superfície.

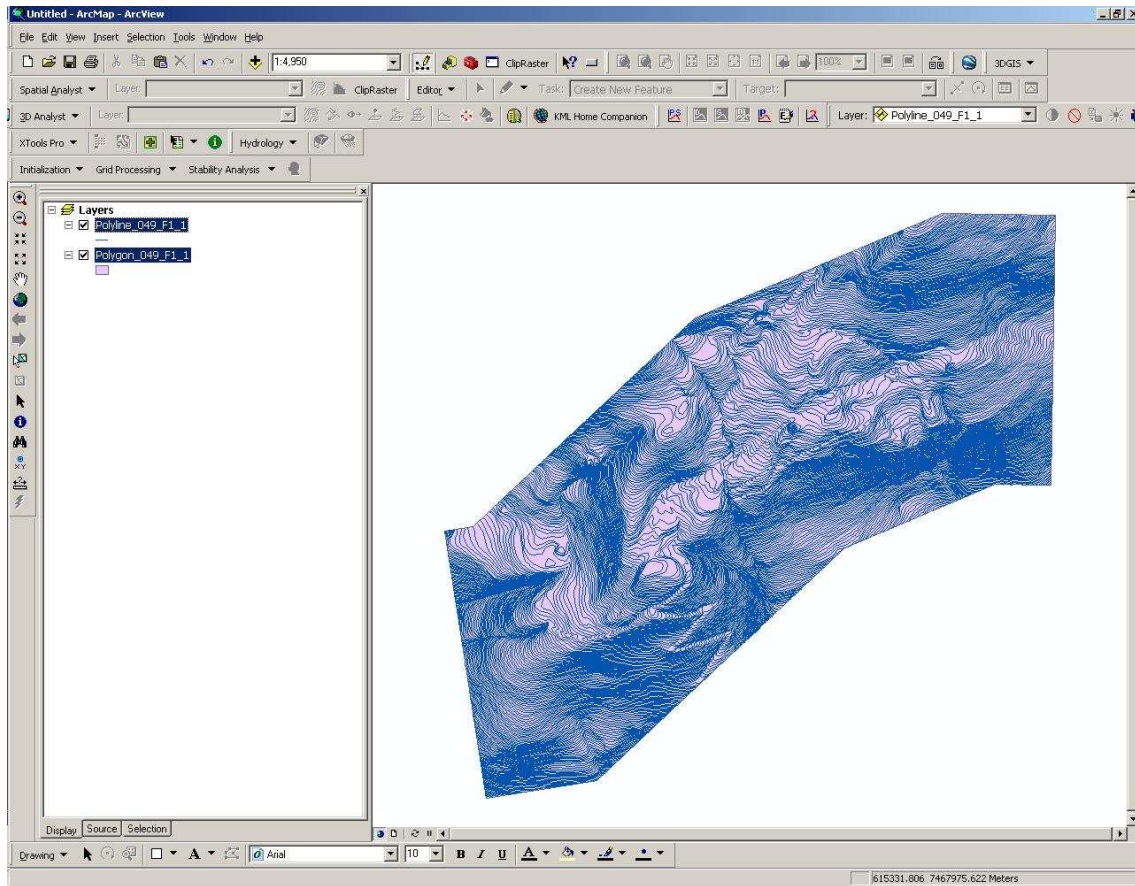


Figura 7.1 - Curvas de nível do terreno

A estrutura do TIN é semelhante à do DEM, a diferença é que os pontos de um TIN são distribuídos de modo variado, com base em um algoritmo que determina quais pontos são mais necessários para uma representação precisa do terreno [23]. Com este TIN podemos, então, criar uma imagem raster do modelo (TIFF), como visto na figura 7.2.

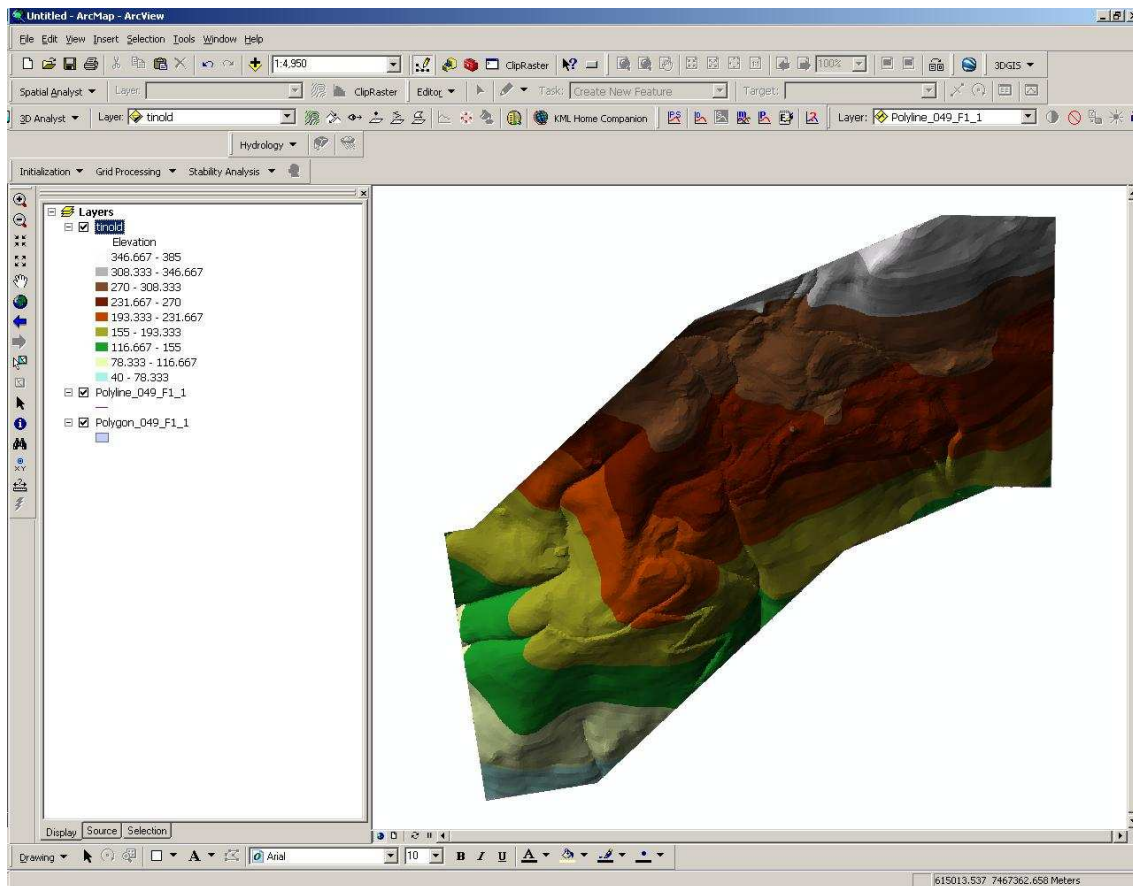


Figura 7.2 - Imagem "rasterizada do modelo" no ArcGis

7.2 Gerando os Inclinômetros

Ainda dentro do ambiente ArcGis, os dados dos inclinômetros pertencentes à faixa são lidos da base, e associados ao modelo. Nas figuras 7.3 e 7.4 podemos ver a tabela de dados e o modelo com os inclinômetros associados, respectivamente.

Os dados representados na tabela são:

- FID – identificador;
- DATA_COORD – data em que o dado foi gerado;
- NOME_INSTRUMENTO – nome do instrumento no sistema;
- NORTE_COOR – Coordenada Norte do ponto (valor y);
- ESTE_COOR – Coordenada Leste do ponto (valor x);
- desl_x – valor do deslocamento no eixo este – oeste para o inclinômetro no topo (em mm);
- desl_y – valor do deslocamento no eixo norte – sul para o inclinômetro no topo(em mm);

- dt – diferença da altura Z do inclinômetro no topo(em mm);

	A	B	C	D	E	F	H	I	J
1	FID	DATA_COORD	NOME_INSTR	NORTE_COOR	ESTE_COORD	ZONA_UTM	desl_X	desl_Y	dt
2	0	03/09/2008	INC-4200.04-048.300-001	7467565,633	615455,486	23S	-255,969	-233,232	346,2913
3	1	03/09/2008	INC-4200.04-048.500-002	7467690,128	615754,518	23S	-97,1984	-119,763	154,2425
4	2	03/09/2008	INC-4200.04-048.500-001A	7467678,156	615722,356	23S	118,3359	133,439	178,3518
5	3	03/09/2008	INC-4200.04-048.300-008A	7467660,282	615561,459	23S	-150,972	-146,931	210,6686
6	4	03/09/2008	INC-4200.04-048.500-010A	7467670,059	615737,798	23S	83,42169	-73,6538	111,2837
7	5	03/09/2008	INC-4200.04-048.500-011	7467715,133	615796,309	23S	-4,31579	3,101964	5,314904
8	6	03/09/2008	INC-4200.04-048.500-012A	7467648,168	615771,86	23S	43,08076	-40,5375	59,1544
9	7	03/09/2008	INC-4200.04-048.500-014	7467718,145	615769,755	23S	-0,23823	0,030796	0,240208
10	8	03/09/2008	INC-4200.04-048.300-005A	7467785,816	615659,894	23S	-13,3137	-17,001	21,59377
11	9	03/09/2008	INC-4200.04-048.300-004A	7467826,914	615680,017	23S	34,59121	-6,90198	35,27307
12	10	03/09/2008	INC-4200.04-048.300-006A	7467744,653	615645,409	23S	-83,4312	-130,022	154,4878
13	11	16/11/2006	INC-4200.04-048.300-027	7467471,54	615566,83	23S	-1,56	112,9	112,9108
14	12	03/09/2008	INC-4200.04-048.300-011	7467561,257	615506,038	23S	14,65706	-81,4796	82,78744
15	13	03/09/2008	INC-4200.04-048.300-012	7467526,304	615548,862	23S	24,81302	-225,784	227,1429
16	14	03/09/2008	INC-4200.04-048.300-016	7467481,931	615520,934	23S	-0,33763	-2,47542	2,498339
17	15	03/09/2008	INC-4200.04-048.300-018	7467631,426	615653,728	23S	0,503731	-2,05909	2,119811
18	16	03/09/2008	INC-4200.04-048.500-003	7467741,342	615736,171	23S	180,3014	-118,966	216,013
19	17	03/09/2008	INC-4200.04-048.300-006	7467621,891	615780,825	23S	34,68952	-23,1679	41,71468
20	18	03/09/2008	INC-4200.04-048.500-007	7467649,775	615808,444	23S	1,776674	-55,1857	55,21431
21	19	03/09/2008	INC-4200.04-048.500-008	7467614,817	615794,256	23S	29,81254	3,268549	29,99118
22	20	01/01/2004	INC-4200.04-048.500-009	7467670,13	615694,42	23S	59,69697	-6,15435	60,01337
23	21	03/09/2008	INC-4200.04-048.500-013	7467622,802	615707,543	23S	-1,08035	4,821912	4,941457
24	22	03/09/2008	INC-4200.04-048.500-001B	7467678,156	615722,356	23S	-0,8267	-0,4767	0,954293
25	23	09/03/2009	INC-4200.04-048.300-009A	7467624,584	615597,098	23S	2,9466	6,9766	7,573335
26	24	09/03/2009	INC-4200.04-048.300-014A	7467588,549	615555,57	23S	-544,667	-600,513	810,7268
27	25	09/03/2009	INC-4200.04-048.300-015A	7467610,017	615580,84	23S	5,8833	4,3401	7,310929
28	26	03/09/2008	INC-4200.04-048.300-003	7467544,013	615599,314	23S	74,58	45,37	87,29612
29	27	03/09/2008	INC-4200.04-048.500-005	7467679,302	615804,435	23S	14,17418	-2,41544	14,37852
30	28	09/03/2009	INC-4200.04-048.300-020A	7467853,786	615701,684	23S	0	0	0
31	29	03/09/2008	INC-4200.04-048.300-013	7467654,143	615640,812	23S	-39,6875	-207,158	210,9258
32	30	09/03/2009	INC-4200.04-048.300-019A	7467853,786	615678,05	23S	0	0	0
33	31	09/03/2009	INC-4200.04-048.300-017A	7467504,033	615567,242	23S	0,95	1,9902	2,205311
34	32	09/03/2009	INC-4200.04-048.300-007A	7467688,383	615614,734	23S	0	0	0
35	33	09/03/2009	INC-4200.04-048.500-004A	7467724,135	615752,973	23S	0	0	0
36	34	09/03/2009	INC-4200.04-048.300-010A	7467576,03	615592,212	23S	2,1168	1,5435	2,619778

Figura 7.3 - Tabela com os dados dos inclinômetros

Antes de utilizar estes valores para gerar a interpolação é preciso multiplicados por 10^{-3} os campos desl_x e desl_y, pois a unidade de medida dos deslocamentos é milímetro, enquanto que a unidade dos outros valores é metro. Para dt, a multiplicação é feita por 10^{-2} . isto é feito para gerar um exagero no deslocamento, e ficar destacado na visualização tridimensional.

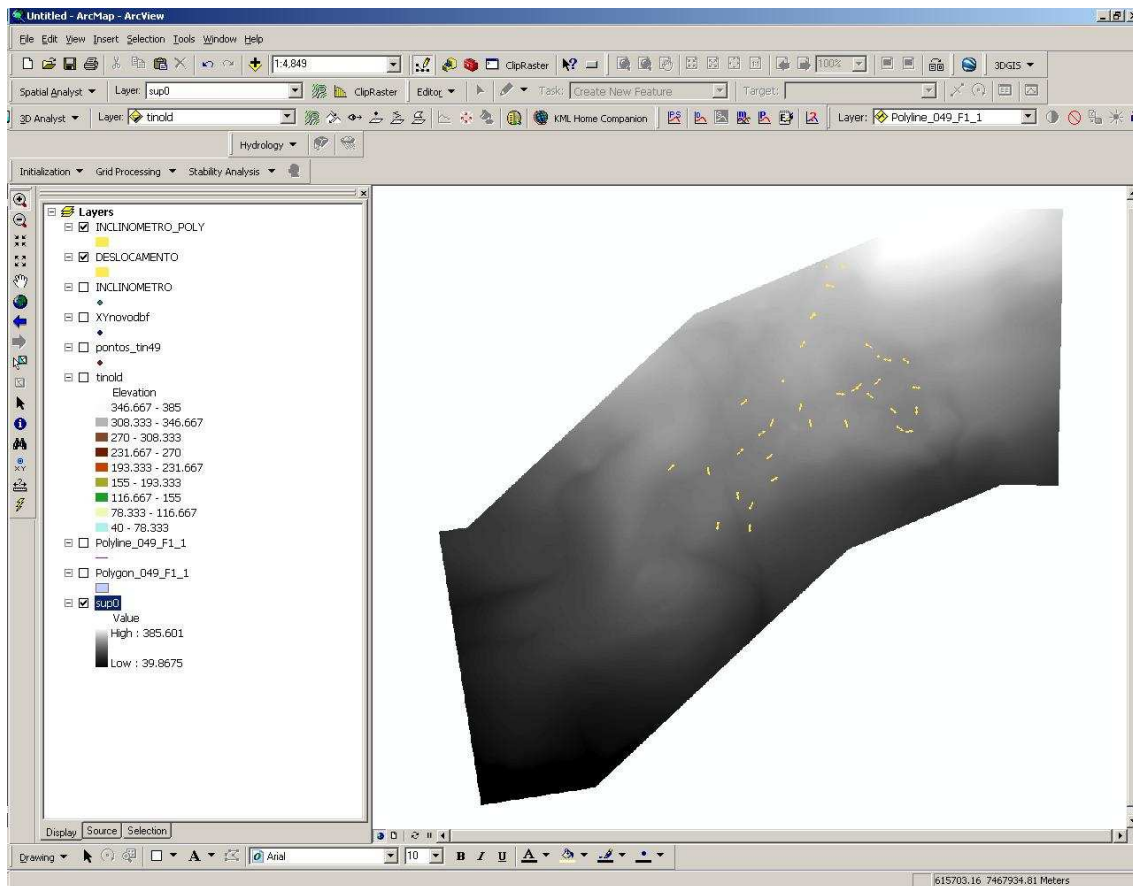


Figura 7.4 - Inclínômetros (vetores amarelos) associados ao modelo

7.3 Gerando a malha interpolada

Para a interpolação foi gerado no ArcGis um Diagrama de Voronoi com a distribuição dos inclinômetros no terreno, como visto na figura 7.5. Para gerar a nova malha, foi realizado o seguinte processo: para todos os pontos são calculados novos valores de x e y. estes valores são as diferenças entre os valores x e y originais e os deslocamento x e deslocamento y, respectivamente, do inclinômetro que está na mesma célula que o ponto. Os novos valores z são as diferenças entre os valores z originais e os deslocamentos z multiplicados pelo seno da declividade do ponto (função do ArcGis), conforme visto na figura 7.6.

Desta malha é gerado um novo TIN, e novamente é gerada uma imagem raster do modelo (TIFF).

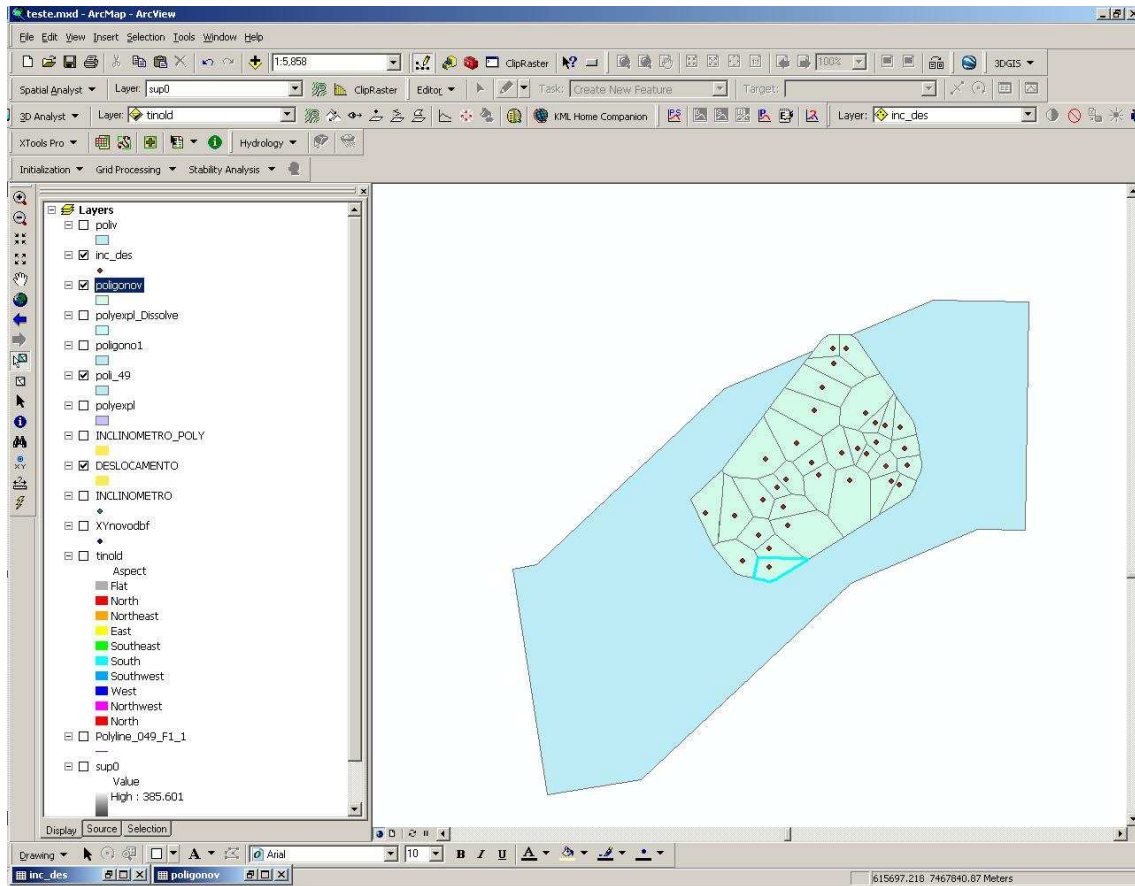


Figura 7.5 - diagrama de Voronoi gerado para o terreno no ArcGis

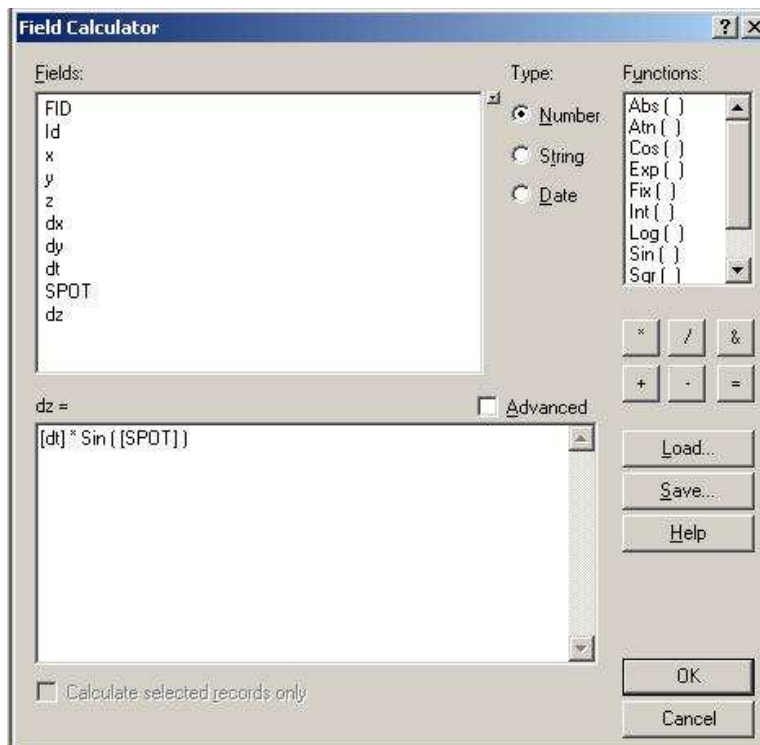


Figura 7.6 - Cálculo do novo valor de z

7.4 Manipulando os dados na mesa

Ao iniciar o sistema, o usuário pode colocar todos os arquivos de imagens que quiser na barra de imagens, utilizando para isto o botão “Carregar”. As imagens exibidas na barra são mostradas de uma forma minimizada, e a qualquer momento o usuário pode selecionar uma das imagens para exibi-la na mesa, desta maneira, a imagem pode ser manipulada. Outra opção do usuário é ativar a visualização do modelo tridimensional, e manipulá-lo com o auxílio da mesa.

O protótipo pode ser visto sendo executado nas figuras 7.7, 7.8 e 7.9. Nestes testes, a tela para a visualização tridimensional foi uma televisão/monitor LCD com uma tela de 32 polegadas. Para estes testes não foi ativada a visualização estereoscópica.

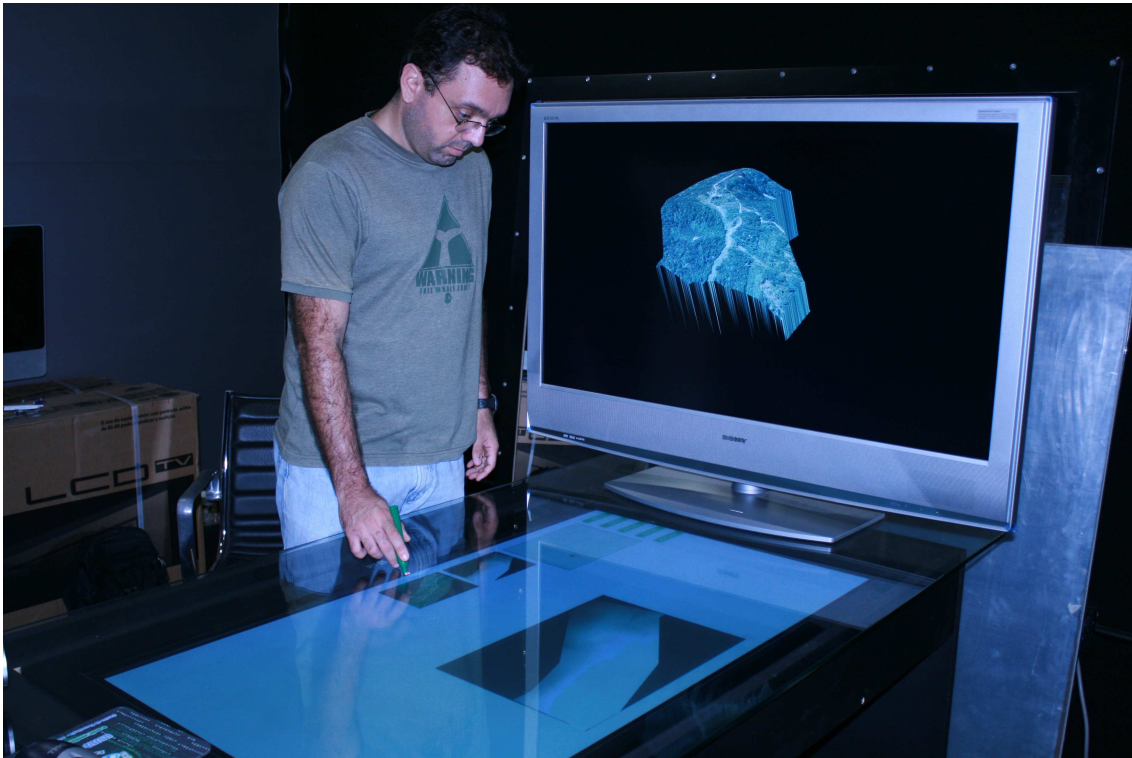


Figura 7.7 - Protótipo sendo executado

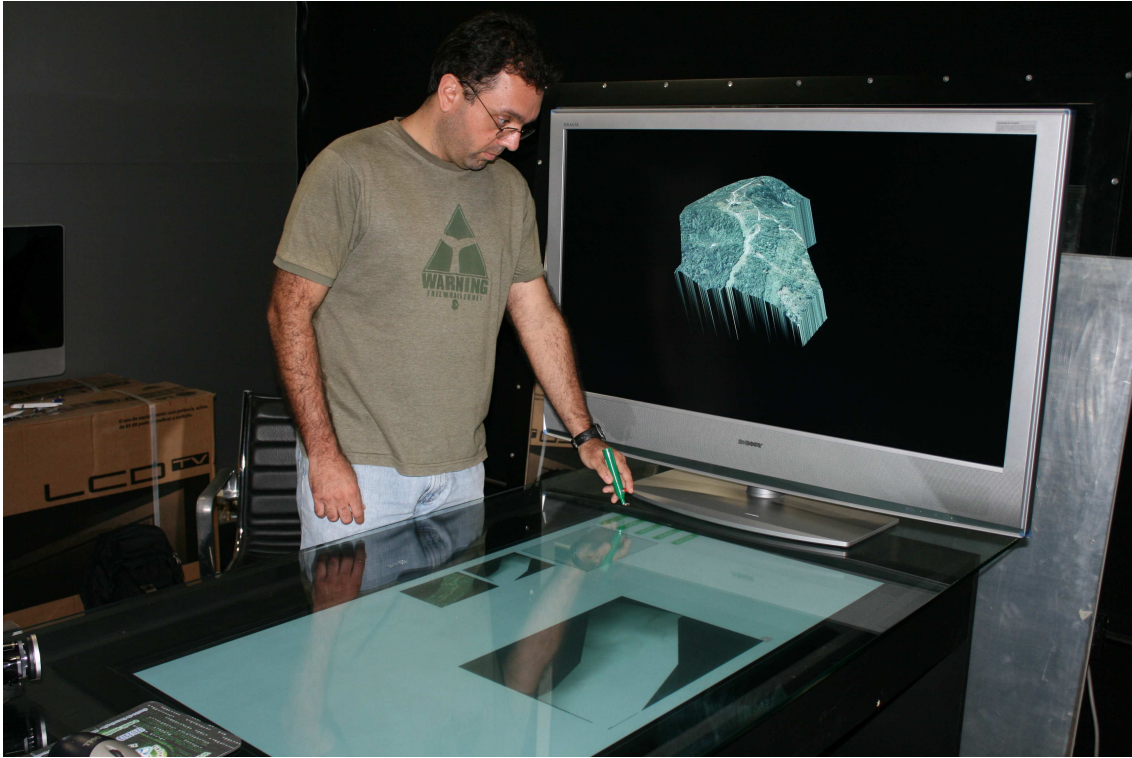


Figura 7.8 - Protótipo sendo executado



Figura 7.9 - Protótipo sendo executado

7.5 Testes e validação com Usuários

Foram convidados alguns usuários em potencial do sistema para testar o protótipo. O grupo de usuários que aceitou participar dos testes foi composto por quatro funcionários da Petrobras, lotados no Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello, CENPES e dois alunos do curso de Mestrado do Curso de engenharia civil da COPPE - UFRJ. Foi feita uma apresentação verbal antes da utilização pelos participantes, que descreveu os procedimentos para abrir arquivos de imagens e manipulá-los; e para gerar a visualização tridimensional e manipulá-la. Não foi feito nenhum treinamento especial além destas instruções.

O cenário dos testes engloba a utilização do protótipo para abrir e manipular imagens com o auxílio da mesa. Os testes também incluem a geração e visualização de um modelo tridimensional do terreno citado no início deste capítulo. Tudo isto é feito com o auxílio da mesa.

Após os testes eles foram submetidos a um questionário (Anexo I) para validar os parâmetros definidos pelo padrão ISO 9241: eficiência, eficácia e satisfação.

As respostas do questionário indicaram que todos os usuários já tinham experiência em utilizar arquivos de imagens e modelos tridimensionais. As respostas em relação à eficácia mostraram que todos os usuários conseguiram utilizar as funcionalidades do protótipo. As respostas em relação à eficiência, mostraram que a grande maioria dos usuários conseguiu utilizar o protótipo com eficiência, estas respostas podem ser vistas no gráfico da figura 7.10. Em relação à satisfação, todos os usuários responderam que se sentiram confortáveis ao utilizar o protótipo. Além de responder ao questionário, os usuários também fizeram algumas observações sobre o protótipo, que ficam como idéias para trabalhos futuros:

- Melhorar a precisão da caneta;
- Consultar um especialista em ergonomia, para melhorar o formato da caneta;
- Interface de interação com o modelo 3D de fácil adaptação para o usuário.

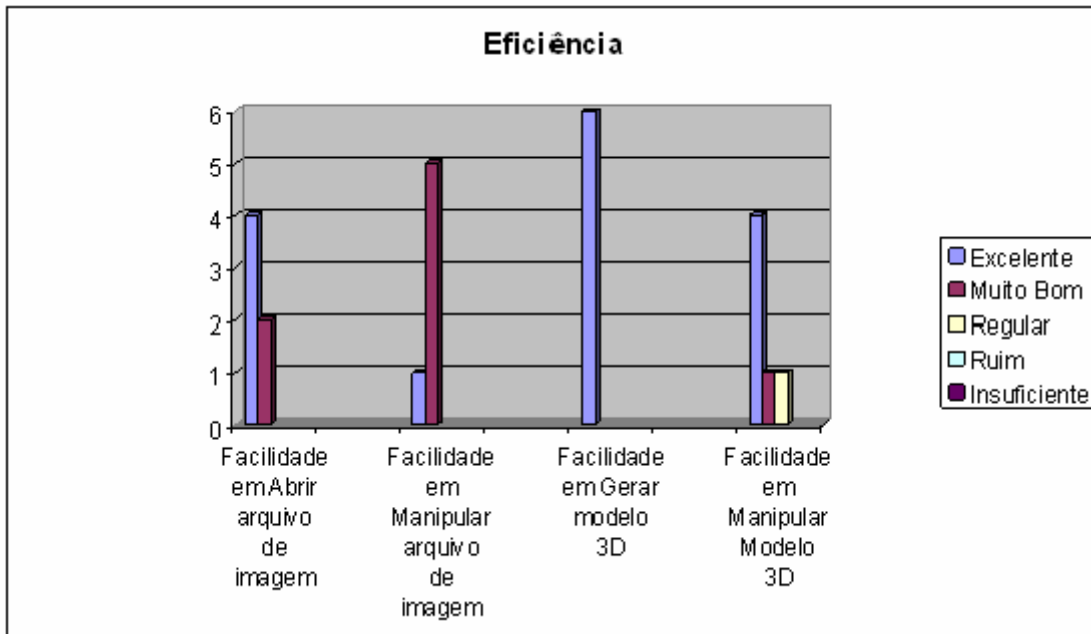


Figura 7.10 - Gráfico com os resultados da pesquisa

8 Conclusão

No presente trabalho foi apresentado um conjunto de técnicas, algoritmos e ferramentas já existentes para a solução de problemas relacionados com a visualização tridimensional de terrenos. Eles tiveram o uso e aplicabilidade combinados de uma maneira que pudessem ajudar na avaliação de riscos geotécnicos.

Foi apresentado também, um conjunto de técnicas, algoritmos, ferramentas e equipamentos integrados de uma maneira inovadora para criar um ambiente computacional de tomada de decisões.

Foram abordados e utilizados conceitos de usabilidade, e realizado testes com usuários em potencial para o sistema para sua validação.

Para avaliação dos conceitos foi criado um protótipo, dividido em dois módulos, um composto de uma mesa de projeção sensível ao toque de uma caneta especial, que comandava as ações do *mouse*. Esta mesa permite a manipulação de arquivos de imagens, que são arquivos que contém informações importantes para estudos geotécnicos, como por exemplo, fotos aéreas e curvas de níveis. Através da mesa é possível também interagir com o outro módulo do protótipo, que é a visualização tridimensional de uma área estudada na mesa. A combinação destes dois ambientes foi denominada de ambiente de tomada de decisões.

Uma das principais dificuldades iniciais para realizar o projeto foi definir um ambiente de programação adequado para a criação do modelo tridimensional, pois o trabalho envolvia a junção de diferentes tecnologias. A escolha de um ambiente baseado na linguagem Java se mostrou adequada, pois ela possibilitou que todos os pedaços do problema fossem tratados de uma maneira semelhante, do ponto de vista da programação. Isto se deve ao fato do Java ser uma linguagem muito difundida mundialmente, com uma boa documentação e uma comunidade de usuários bastante ativa. Estas características são as principais responsáveis pelo grande número de bibliotecas complementares ao núcleo da linguagem, que além de serem gratuitas seguem um padrão de documentação que facilita o aprendizado e utilização.

A escolha do ArcGis para gerar os arquivos utilizados no protótipo foi baseada na sua utilização dentro da Petrobras.

A maneira encontrada para a validação do protótipo foi submeter usuários em potencial do sistema, a um questionário para medir a eficiência, eficácia e satisfação.

Este grupo de usuários foi composto por estudantes do curso de Mestrado em Engenharia Civil da COPPE – UFRJ, e funcionários da Petrobras, lotados no Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello , CENPES.

8.1 Visualização 3D

Como já dito anteriormente, a taxa desejável para ter uma boa sensação de visualização é de 60 FPS. A taxa alcançada pela aplicação foi superior a 80 FPS com o modelo parado, e uma média de 62 FPS com o modelo em movimento em estéreo (dois modelos simultâneos). Conforme os resultados da pesquisa com os usuários que realizaram os testes com o protótipo, eles consideraram que o visualizador 3D apresentou boa eficácia, eficiência e o utilizaram com satisfação.

8.2 Ambiente de Tomada de Decisões

O protótipo para o ambiente proposto foi criado, testado pelos usuários citados anteriormente. Alguns problemas, com relação ao JavaFX, ocorreram durante a fase de programação. Estes problemas não impediram sua utilização e término do trabalho, mas é algo a ser considerado caso o trabalho seja levado adiante:

- Incompatibilidade entre as versões 1.1 e 1.2 – A programação do aplicativo foi inicialmente feita com a versão 1.1 da linguagem. Durante a fase de programação foi lançada uma nova versão (1.2). Apesar de a parte inteira dos números das versões serem iguais (1), indicando que elas são compatíveis, ao fazer a atualização, o aplicativo não mais funcionou, sendo preciso retornar para a versão anterior. Isto mostra que a linguagem ainda não está madura, e, é preciso fazer testes consistentes antes de utilizá-la para gerar um produto final.
- Incapacidade de realizar debug na IDE. – esta impossibilidade é contornada fazendo que o programa imprima mensagens de texto na tela do computador com os valores que deseja acompanhar em alguns pontos do programa. Apesar de contornar o problema, cria-se uma maior complexidade na programação, é preciso sempre se lembrar de retirar estes pedaços de código ao gerar uma versão válida do programa.

- Não tem método nativo para visualizar arquivos de imagens TIFF, tendo sido preciso criar estes métodos para o protótipo.

8.3 Trabalhos Futuros

Para trabalhos futuros, propõem-se o desenvolvimento de algumas funcionalidades que aumentem o espaço do trabalho. Estas funcionalidades podem gerar outros estudos tanto na linha da interface homem-máquina quanto na linha de visualização científica:

- Utilizar uma mesa multi toque;
- Criar mais funcionalidades de interação com os objetos mostrados na mesa, como por exemplo, permitir a rotação da imagem, que facilitaria o trabalho de pessoas em volta da mesa;
- Criar a possibilidade de interagir com o modelo tridimensional sem o auxílio da mesa para a manipulação;
- Criar a possibilidade de visualizar o modelo tridimensional em diferentes modos (“wireframe”, nuvem de pontos, etc.);
- Implementar opção de ajuste da estereoscopia enquanto o modelo está sendo mostrado na tela;
- Implementar outros métodos de interpolação, com possibilidade de comparação entre os resultados.

Referências bibliográficas

- [1] VELHO, LUIZ, ROCHA LOURENA, PINHEIRO SERGIO, et al., *Visualização de Terrenos em Tempo Real com Malhas Semi-Regulares*, Instituto de Matemática Pura e Aplicada TR-2005-05, Rio de Janeiro, Ago 2004.
- [2] MELLO, F. J, SILVA, L. F. C. F., “Análise de desempenho de uma metodologia de tratamento de dados altimétricos aplicada à visualização tridimensional de terrenos”, **Revista Brasileira de Cartografia**, no 58, v02, p.185-191, 2006. Disponível em: <http://www.rbc.ufrj.br/_pdf_58_2006/58_02_08.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2009.
- [3] ROBERTS, DUNCAN A. K. M., HARDY, ALEXANDRE, “Level of Detail for Terrain Geometry Images”, *African Graphics Association Conference*, pp. 25-30, Grahamstown, South Africa, Out. 2007.
- [4] HAO, AIMIN, TANG, SHAOPEG, JIA LINTAO. “A Method for Terrain Rendering Real-time Base don Two-Level Model” *Second Workshop on Digital Media and its Application in Museum & Heritage*, Chongqing, China .pp 189-194, Dez 2007. Disponível em : < <http://www2.computer.org/portal/web/csdl/doi/10.1109/DMAMH.2007.19>> Acesso em: 08 Dezembro 2008.
- [5] SILVA, BARBARA D., FILGUEIRAS, L. V. L., “Avaliação Situada de Usabilidade em Equipamentos Médicos para Atendimento à Norma IEC 60601-1-6” in : *Anais do XXVIII Congresso da SBC – WIM – Workshop de Informática Médica*, pp. 51-60, Belém do Pará, Jun 2008.
- [6] SOUZA, EDNALDA MARIA. **Um Estudo sobre um Algoritmo para Visualização de Terrenos**. Dissertação de M. Sc. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2003.

- [7] TOLEDO, RODRIGO PENTEADO R. DE, **QuadLOD Uma Estrutura para a Visualização Interativa de Terrenos**, Dissertação de M.Sc. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2000.
- [8] LIPORACI, S. R. , RÖHM, S. A. , PEDRO, F. G. , CEREDA JUNIOR, A. “ Comparação entre Diferentes Técnicas Digitais para Elaboração do Modelo Digital do Terreno e da Carta de Declividades, com aplicação em mapeamento Geológico-Geotécnico e análise Ambiental”, **HOLOS Environment**, v.3 n.2, pp. 85-102, Nov 2003.
- [9] CLARK, JAMES H., “Hierarchical Geometric Models for Visible Surface Algorithms”, **Communications of the ACM**, v. 19, n. 10, pp. 547-554, Out. 1976.
- [10] DAMAS, B., ARAKI, H., “Análise de superfícies geradas por diferentes métodos interpoladores oriundas de dados laser scanner”, **XVI Jornada de Jovens Pesquisadores da AUGM**, ND6011,Campinas, São Paulo, Brasil, Set. 2006.
- [11] Imagem – Soluções de Inteligência Geográfica, Disponível em: <http://www.img.com.br/produtos_home.aspx?idProd=52> Acessado em 30 de Maio de 2009.
- [12] MIRANDA, R. P., **JOODBMS – IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE PERSISTÊNCIA E RECUPERAÇÃO DE OBJETOS EM JAVA**, Dissertação de M. Sc. Universidade de Brasília. Brasília 2006.
- [13] ROCHA, R. S., COSTA A. M., AMARAL C. S.et al., “Geotechnical Data Management System Of Transpetro Pipe Routes – Georisco”, **Proceedings of International Pipeline Conference**, IPC04-0598, Calgary, Alberta Canadá, Out 2004.
- [14] JACOB, A. A. E., “A Krigagem com Método de Análise de Dados Demográficos”, **III Encontro da Associação Brasileira de Estudos Populacionais**, Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil, Nov. 2002.

- [15] MELLO, C. R., LIMA, J. M., SILVA, A. M., MELLO J. M. et al ,
“Krigagem e Inverso do Quadrado da Distância para Interpolação dos
Parâmetros da Equação de Chuvas Intensas”, **Revista Brasileira de Ciências do
Solo**, no 27, p.925-933, 2003.
- [16] IESCHECK, A. L., SLUTER C. R., AYUP-ZOUAIN R. N. , “Interpolação
Qualitativa de Dados Espaciais”, **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 14, no 4,
p.523-540, out-dez, 2008.
- [17] Mimio Interactive Teaching Technologies, Disponível em:
<<http://mimio.com>> Acessado em 28 de Julho de 2009.
- [18] RIBAS G. C., RIBAS E. C., RODRIGUES JÚNIOR. ALDO. J., “O cérebro,
a visão tridimensional, e as técnicas de obtenção de imagens estereoscópicas”.
Revista de Medicina São Paulo, v. 85, n.3, pp. 78-90, Jun. - Set. 2006.
- [19] OLIVEIRA, A. S., **Avaliação da Usabilidade de Interfaces por meio de
Gestos das Mãos em Aplicações Utilizadas pelos Engenheiros de Petróleo**,
Dissertação de M.Sc, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro,
Nov 2008.
- [20] ISO 9241-11, 1998, **Ergonomic requirements for office work with
visual display terminals, Part 11 Usability Statements**. Draft International
Standard ISO.
- [21] Java™ Image I/O Technology, Disponível em: <<http://java.sun.com/javase/6/docs/technotes/guides/imageio/index.html>>. Acessado em 28 Mai 2009.
- [22] BICHO, ALESSANDRO L., SILVEIRA JÚNIOR., LUIZ G., CRUZ,
ADAILTON J. A., ET AL., “Programação Gráfica 3D com OpenGL, Open
Inventor e Java 3D”, **Revista Eletrônica de Iniciação Científica**,v. 2, n. 1,
Março de 2002. Disponível em <<http://www.sbc.org.br/reic/edicoes/2002e1/tutoriais/ProgramacaoGrafica3DcomOpenGLOpenInventoreJava3D.pdf>
> Acessado em 28 de Maio de 2009.

- [23] PAJAROLA, RENATO, GOBBETTI ENRICO, N. 8, V. 23, PP. 583-605
“Survey on Semi-Regular Multiresolution Models for Interactive Terrain Rendering”, **Visual Computer** v. 23, n. 8, v. 23, pp 583-605, Agosto 2007.
- [24] Site oficial do NetBeans, Disponível em: <<http://www.netbeans.org/>>.
Acessado em 28 Mai 2009.
- [25] MAGALHÃES, LUIZ GUSTAVO BUSTAMENTE, **Multi-resolução de Geometria de Terrenos Armazenados em Memória Secundária**, Dissertação de M.Sc., Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2005.
- [26] BETTÚ, D. F., FERREIRA, F. J. F., “Modelos da superfície potenciométrica do sistema aquífero caiuí no nordeste do estado do Paraná: Comparação entre krigagem ordinária e krigagem com tendência externa no modelo numérico do terreno” , **Águas Subterrâneas**, v.19, n.2, p.55-66, 2005.
- [27] FERRER, A. V., **3D Immersive Visual Simulation of Terrain and Water Phenomena in Java3D**, Dissertação de M.Sc, Lulea University of Technology, Suécia, Mar 2008.
- [28] GeoTiff Web Site, Disponível em: <<http://trac.osgeo.org/geotiff/>>.
Acessado em 18 Fev 2009.
- [29] Javafx, Disponível em: < <http://www.javafx.com/>>. Acessado em 13 Abr 2009.
- [30] Java3d, Disponível em: <<http://www.java3d.org/>>. Acessado em 28 Mai 2009.
- [31] The Java 3D Community Site, Disponível em: <<http://www.j3d.org/>>.
Acessado em 29 Mai 2009.
- [32] JavaFX, Disponível em: < <http://www.sun.com/software/javafx/>> Acessado em 10 de Dezembro de 2008.

[33] NetBeans, Disponível em <<http://netbeans.org>>. Acessado em 10 de Dezembro de 2008.

ANEXO I - Questionário



COPPE/UFRJ

QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DO PROTÓTIPO DE TOMADA DE DECISÕES

- 1) Você já utilizou, alguma vez, algum aplicativo para manipulação de imagens?
 Sim Não
- 2) Você já utilizou, alguma vez, algum aplicativo para visualização tridimensional?
 Sim Não
- 3) Você conseguiu abrir um arquivo de imagem?
 Sim Não
- 4) Você conseguiu manipular um arquivo de imagem?
 Sim Não
- 5) Você conseguiu gerar o modelo 3D?
 Sim Não
- 6) Você conseguiu manipular o modelo 3D?
 Sim Não

Em uma escala que vai de 1 a 5 conforme descrito abaixo avalie sua facilidade em utilizar o protótipo

Legenda: 5=Excelente; 4=Muito Bom; 3=Regular; 2=Ruim; 1=Insuficiente

- 7) Facilidade para abrir um arquivo de imagem
 1 2 3 4 5
- 8) Facilidade para manipular um arquivo de imagem
 1 2 3 4 5
- 9) Facilidade para gerar o modelo 3D
 1 2 3 4 5
- 10) Facilidade para manipular o modelo 3D
 1 2 3 4 5
- 11) Você se sentiu confortável ao utilizar o sistema?
 Sim Não

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)