

**Pablo Reinhardt**

Realidade Virtual e Geoprocessamento:  
Integração de Recursos e Potencialização  
de Comunicação da Realidade Espacial  
de Catas Altas, MG

IX Curso de Especialização em Geoprocessamento  
2006



UFMG  
Instituto de Geociências  
Departamento de Cartografia  
Av. Antônio Carlos, 6627 – Pampulha  
Belo Horizonte  
cartografia@igc.ufmg.br

PABLO REINHARDT

**REALIDADE VIRTUAL E GEOPROCESSAMENTO: INTEGRAÇÃO  
DE RECURSOS E POTENCIALIZAÇÃO DE COMUNICAÇÃO DA  
REALIDADE ESPACIAL DE CATAS ALTAS - MG**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de especialista em Geoprocessamento, Curso de especialização em geoprocessamento, Departamento de Cartografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais

Orientadora: Professora Ana Clara Mourão Moura

BELO HORIZONTE  
2006

Reinhardt, Pablo Mafrá

Realidade Virtual e Geoprocessamento: Integração de Recursos e Potencialização de Comunicação da Realidade Espacial de Catas Altas, MG – Belo Horizonte 2006

Monografia (especialização) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, Departamento de Cartografia, 2006.

Orientador: Ana Clara Mourão Moura

1. Realidade Virtual; 2. Geoprocessamento;  
3. Visualização de informações; VRGIS

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE REALIDADE VIRTUAL .....</b>	<b>7</b>
<b>1.1 O QUE É REALIDADE VIRTUAL? .....</b>	<b>7</b>
<b>1.2. BREVE HISTÓRIA DA REALIDADE VIRTUAL .....</b>	<b>11</b>
<b>1.3. TIPOS DE SISTEMAS DE RV E EQUIPAMENTOS DE IMERSÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>1.4. A INTEGRAÇÃO RV\GIS\WWW: NOVOS PARADIGMAS NA VISUALIZAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS GEOGRÁFICOS .....</b>	<b>20</b>
<b>CAPÍTULO 2: PROPOSTA DE MODELAGEM DE UMA CIDADE .....</b>	<b>32</b>
<b>2.1 METODOLOGIA .....</b>	<b>32</b>
<b>2.1.1 Ferramentas utilizadas .....</b>	<b>32</b>
<b>2.2.2 Desenvolvimento das etapas de trabalho .....</b>	<b>33</b>
<b>2.1.3 Roteiro Metodológico .....</b>	<b>34</b>
<b>MAPA 1 – MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO .....</b>	<b>36</b>
<b>MAPA 2 – MAPA DE DECLIVIDADE.....</b>	<b>46</b>
<b>MAPA 3 – MAPA DE DECLIVIDADES MENORES OU IGUAIS A 15 GRAUS .....</b>	<b>47</b>
<b>MAPA 4 – MAPA DE ÁREAS VISIBILIDADE A PARTIR DA BACIA VISUAL DE MINERAÇÃO .....</b>	<b>48</b>
<b>MAPA 5 – MAPA DE ÁREAS NÃO VISÍVEIS A PARTIR DA BACIA VISUAL DE MINERAÇÃO .....</b>	<b>49</b>
<b>MAPA 6 – MAPA DE SUSCETIBILIDADE A LOCALIZAÇÃO DE POUSADAS NA REGIÃO DE CATAS ALTAS, MG .....</b>	<b>50</b>
<b>CAPÍTULO 3 - RESULTADOS.....</b>	<b>54</b>
<b>3.1 WALKINSIDE: REALIDADE VIRTUAL EM TEMPO REAL.....</b>	<b>54</b>
<b>3.2 APLICAÇÕES IMEDIATAS E POSSÍVEIS DO MODELO DE REALIDADE VIRTUAL EM TEMPO REAL .....</b>	<b>57</b>
<b>3.2.1 Integração de dados.....</b>	<b>57</b>
<b>3.2.2 Ambientes virtuais colaborativos .....</b>	<b>59</b>
<b>3.2.3 Conexão a Banco de Dados: Desktop GIS 4D .....</b>	<b>61</b>
<b>3.2.4 Conexões Externas com outros Softwares e Endereços na WEB (hiperlinks) .....</b>	<b>62</b>
<b>3.2.5 Controle de Camadas de Informação.....</b>	<b>63</b>
<b>3.2.6 Animações e Simulações de Intervenções na Paisagem .....</b>	<b>64</b>
<b>3.2.7 Visualização Estereoscópica .....</b>	<b>65</b>
<b>3.2.8 Navegação 3D apoiada com visualização 2D e rastreamento do usuário .....</b>	<b>66</b>
<b>3.2.9 Definição do valor paisagístico de empreendimentos .....</b>	<b>67</b>
<b>3.2.10 Outras Aplicações: .....</b>	<b>68</b>
<b>3.3 APRESENTAÇÃO DO PRODUTO FINAL .....</b>	<b>69</b>
<b>3.3.1 Passeio Virtual por Catas Altas: .....</b>	<b>70</b>
<b>3.3.2 Passeio Virtual pela Serra do Caraça.....</b>	<b>73</b>
<b>3.3.3 Escolha de melhor local para pousada com suporte de análise espacial .....</b>	<b>75</b>
<b>3.3.2 Simulação de Cava de Mina e Pilha de Estéril .....</b>	<b>76</b>
<b>CAPÍTULO 4: CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>78</b>

## RESUMO

Este trabalho teve como objetivo demonstrar através de revisão bibliográfica e um estudo e caso de modelamento de dados geográficos em uma plataforma de realidade virtual, como a integração entre dois campos de pesquisas distintos como a Realidade Virtual e o Geoprocessamento, pode trazer ganhos significativos e expandir as possibilidades de ambos.

No decorrer deste trabalho foram utilizados softwares de realidade virtual (Walkinside e VRWorks), de geoprocessamento (ArcGIS e extensões) e de CAD (SketchUp) para o modelamento 3D de dados geográficos e integração dos mesmos em uma plataforma de realidade virtual em tempo real representando a cidade de Catas Altas e seu entorno, que pode ser utilizado para as mais diversas aplicações.

Em seguida é realizada uma análise espacial a partir de modelo digital de terreno, com o objetivo de se buscar os melhores locais para se estabelecer uma pousada na região, tendo como critérios a não visibilidade da frente de mineração presente na paisagem e a preferência por declividades mais baixas. O resultado é posteriormente testado através de navegação em tempo real do modelo, no sentido de se observar a aplicação da realidade virtual para aferição pré-campo de análises espaciais.

Por fim são levantadas as novas possibilidades de aplicações que surgem desta integração, assim como algumas limitações que ainda existem para que esta seja plenamente efetivada.

## INTRODUÇÃO

A Realidade Virtual é uma tecnologia que busca interfaces mais diretas e intuitivas na relação usuário\computador. Ela permite que o usuário explore e interaja com informações em um ambiente tridimensional gerado no computador, como se ele realmente fizesse parte do mundo virtual. Esta ferramenta tem aplicabilidade nos mais diversos campos científicos e, principalmente, no âmbito da geografia e cartografia, onde ela oferece novas formas de representação e manipulação de dados geográficos.

Entendendo que o geoprocessamento pode se beneficiar muito com essas novas possibilidades de representação de dados geográficos, este trabalho pretende investigar esta relação e possíveis interações entre as ferramentas de GIS e da Realidade virtual, assim como apresentar um estudo de caso. Tal estudo se deu através do modelamento em realidade virtual da região da cidade de Catas Altas, MG, a partir de dados georeferenciados. Posteriormente, procurou-se explorar as ferramentas de um software de RV para se realizar procedimentos típicos de geoprocessamento, como nivelamento de camadas de informação e análise visual.

Durante este trabalho, procurou-se também buscar a integração de duas formas distintas de realidade virtual: a realidade virtual baseada em modelamento CAD (vetorial) e a realidade virtual baseada em navegação de mosaicos de imagens panorâmicas (matricial). A intenção subjacente a este projeto foi, portanto, a de analisar as contribuições e o potencial que a Realidade Virtual pode agregar ao GIS e vice versa.

## **CAPÍTULO 1: Revisão Bibliográfica sobre Realidade Virtual**

Primeiramente, foi feita uma revisão bibliográfica para elucidar alguns conceitos fundamentais da realidade virtual, descrever os tipos de sistemas baseados em níveis de imersão oferecidos pelos mecanismos de entrada e saída de dados, assim como problematizar alguns aspectos que vêm sendo discutidos no âmbito acadêmico da geografia\cartografia sobre o tema. EM seguida apresento alguns estudos de casos, no intuito de inserir o presente trabalho no contexto mais amplo das pesquisas em visualização de dados geográficos e integração RV\GIS.

### **1.1 O que é Realidade Virtual?**

O termo Realidade Virtual, quando analisado etimologicamente, indica certa ambigüidade, pelo fato de envolver duas palavras a principio antagônicas: “Realidade”, que poderia ser definida como “propriedade do que é real, o que existe realmente” (Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa, 1989) e “Virtual”, definida como “o que não existe como realidade, mas sim como potência ou faculdade” (Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa, 1989). Segundo Pierre Lévy (1996), estaria ocorrendo um equívoco de ordem filosófica quando o conceito de virtual é associado ao falso, ao inexistente, já que este não faria uma oposição semântica ao real. O virtual seria, segundo o autor, uma realidade enquanto potência de realização e, por essa propriedade, poderia expandir as práticas e possibilidades de ação sobre o real, por conseguinte, alterando-o. Segundo ele:

“O virtual, rigorosamente definido, tem somente uma pequena afinidade com o falso, o ilusório, ou o imaginário. Trata-se, do contrário, de um modo de ser poderoso e profundo, que coloca em jogo processos de criação, abre futuros, perfura poços de sentido sob a plenitude da presença física imediata” (Lévy, 1996).

O que a primeira vista pode parecer uma contradição tende então a desfazer-se, enquanto se abre um espaço para a construção de espaços virtuais que podem aperfeiçoar a ação do homem sobre a produção e a organização do seu meio físico, fazendo uso das ferramentas poderosas que a representação virtual do espaço real pode nos fornecer.

Na literatura, apesar das pesquisas em Realidade Virtual se estenderem por mais de meio século, a origem do termo é atribuída a Jaron Lanier, fundador da VPL Research, primeira empresa a se dedicar à pesquisa e desenvolvimento de sistemas de RV, que cunhou o termo para diferenciar as tradicionais maquetes eletrônicas em 3D das simulações envolvendo multi-usuários que ele pesquisava (Wikipédia).

O Espaço Cibernético, ou *Cyberspace*, entendido tanto como o espaço virtual gerado pela rede mundial de computadores quanto ao espaço criado pela Realidade virtual, seria um espaço imaginário, uma simulação 4D do espaço-tempo controlada pela interface de RV. Desta forma, a RV seria a interface pela qual se pode acessar o espaço virtual.

Latta e Oberg (1994) citam Realidade Virtual como uma avançada interface homem-máquina, que simula um ambiente realístico e permite que participantes interajam com ele. Enquanto Pimentel (1995) a define como o uso da alta tecnologia para convencer o usuário de que ele estaria em outra realidade, um novo meio de estar e tocar em informações, tratando-se de um lugar de humanos e computadores fazerem contato (troca de informações).

Apesar de não haver um conceito definitivo de Realidade de Virtual, coexistindo variadas definições segundo a experiência de cada pesquisador, de maneira geral a Realidade Virtual poderia ser definida como uma técnica avançada de interface homem-computador, que permite ao usuário realizar imersão, navegação, interação e simulações em tempo-real em um ambiente sintético tridimensional. Tal ambiente seria gerado por computador, através do estímulo dos sentidos visuais, auditivos e táteis.

Desta forma, o objetivo principal da RV seria gerar modelos físicos de parcelas de uma determinada realidade geográfica e dos objetos geográficos que a compõem, assim como, posteriormente, induzir o usuário a pensar que ele se encontra presente nesta outra realidade, diferente daquela que ele verdadeiramente está. Esta indução se dá de várias formas, fazendo uso de quatro recursos principais (figura 1). Seriam eles:



- **Imersão:** Avançadas técnicas de *estereoscopia*; *hardwares de imersão*, como óculos 3D, rastreadores de movimentos dos braços (*data gloves*) e da cabeça (HMD) e sistemas imersivos de projeção (cavernas virtuais, estações de visão, etc.); além de recursos de simulação de gravidade, colisão e áudio 3D são empregados no sentido de se atingir a sensação de que o usuário está imerso no modelo 3D.

É importante notar que há diferentes níveis de imersão. Este dependerá do nível de detalhamento da representação, do tipo de *hardware* de imersão utilizado e das possibilidades do *software* empregado.

- **Interação:** A RV não só permite realizar incursões virtuais pelos modelos 3D como também possibilita ao usuário interagir com este espaço, alterando e movimentando objetos que compõem o cenário. Possibilita também a interação multi-usuário, quando vários usuários podem estar imersos em um mesmo modelo, podendo cada um deles ver a representação virtual dos outros participantes e estabelecer contato entre si através de *chat* ou voz.

- **Tempo-real:** O modelo 3D deve reagir em tempo real, ou seja, instantaneamente, às ações do usuário, modificando-se em tempo hábil para se adequar a essas ações, mantendo assim a sensação de imersão. Além disso, o tempo no modelo virtual, assim como o espaço, é escalonado em relação à realidade. O que significa dizer que um objeto que se movimenta de um ponto a outro a determinada velocidade no espaço virtual gastaria, aproximadamente, o mesmo tempo para realizar este deslocamento no espaço real.

Uma terceira forma de se entender o tempo-real em RV seria a telemetria. Ligando-se sensores instalados no espaço real, pode-se observar em tempo-real as transformações ocorridas neste espaço através de seu modelo virtual 3D. Devido à presença da variável tempo no modelo de RV, poderíamos afirmar que esta trabalha com modelos em 4 dimensões (X, Y, Z e a dimensão tempo).

- **Simulação:** A RV possibilita a reprodução de situações reais sobre o cenário virtual do modelo tridimensional gerado por computador. A simulação de elementos da realidade,

como a gravidade e a resistência dos objetos à passagem do usuário, aumentam ainda mais a sensação de imersão. Além disso, simulações de fogo, fumaça, multidões, situações hipotéticas e emergenciais, podem ser reproduzidas no modelo de RV.



Figura 1 – Fundamentos básicos da Realidade Virtual

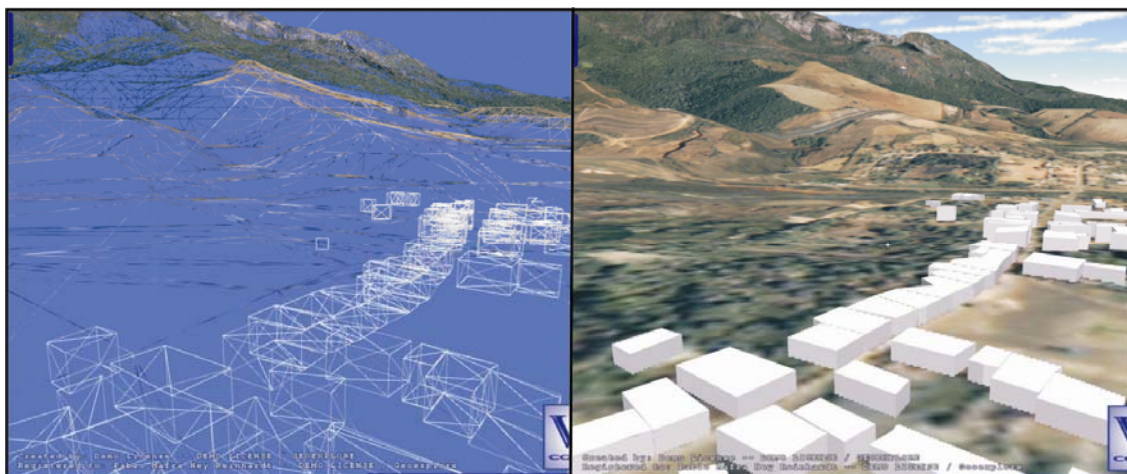
Como demonstra a figura 1, os conceitos fundamentais da RV estão intimamente interligados e cada um contribui para se aumentar a sensação de se estar presente em um mundo virtual diferente daquele em que realmente o usuário se encontra.

A RV é constantemente confundida com animação, CAD (*Computer Aided Design*), maquetes eletrônicas ou multimídia. Entretanto, segundo **Leston (1996)**, a RV se distinguiria destas tecnologias por ser:

- Orientada ao usuário, o observador da cena virtual;
- Mais imersiva, oferecendo uma forte sensação de presença dentro do mundo virtual;
- Mais interativa, podendo o usuário modificar e influenciar o comportamento dos objetos;
- Mais intuitiva, existindo pouca ou nenhuma necessidade de se manipular as interfaces computacionais entre usuário e a máquina.

Além disso, RV pressupõe *rendering* em tempo real. *Rendering*, no jargão do Design Gráfico assistido por computador, é o processo de geração de imagens a partir de modelos 3D criados no computador. Neste processo, os modelos 3D em arame (*wireframe*) ganham texturas e as faces fora do campo de visão do observador são “escondidas” (figura 2).

Além disso, podem ser acrescentados recursos de física da luz, como sombras e reflexão, para aumentar o realismo da cena. Nos softwares CAD, a renderização é um processo demorado, que deve ser repetido a cada mudança do ponto de vista do observador. Na realidade virtual “*as imagens são atualizadas assim que a cena sofre qualquer tipo de modificação, e inclui uma descrição funcional dos objetos, estendendo a descrição puramente geométrica e topológica do CAD*” (Netto; Machado; Oliveira 2002).



**Figura 2: Modelo 3D em modo arame (wireframe) e modelo 3D renderizado**

## 1.2. Breve história da Realidade Virtual

O termo Realidade Virtual, em um primeiro momento, nos remete a um imaginário de ficção científica e futurismo. Há muito o cinema e a literatura vem abordando o tema da realidade virtual, como no livro de Willian Gibson, “Neuromancer” (1984), que descreve um espaço não físico onde uma “alucinação consensual” poderia ser experimentada e introduz o conceito de ciberespaço, ou de espaço virtual. Filmes como “Tron”, “Passageiro do Futuro”, “Nirvana” e o mais recente “Matrix”, nos quais os personagens são transportados e de certa forma habitam um espaço virtual gerado por computador,

contribuem para o senso comum de que a Realidade Virtual poderia somente ser alcançada em um futuro distante ainda inacessível.

Entretanto, a origem da realidade virtual ou pelo menos das pesquisas voltadas para a reprodução da realidade em ambiente imersivo, remonta a mais de 50 anos e encontra seus primórdios na indústria bélica, no pós-segunda guerra mundial, quando a Força Aérea dos EUA desenvolveu sistemas que reproduziam o movimento de aeronaves através de um “cockpit”, que respondia aos movimentos dos controles mecânicos através de mecanismos com acionamento pneumático, antes mesmo do advento dos computadores. Ainda nos anos 50, com o início da computação, os simuladores passaram a usar equações matemáticas para a modelagem das características das aeronaves e passou-se a utilizar instrumentos que estabeleciam um retorno das informações ao operador, aumentando assim sua percepção de realismo (Jacobson, 1994).

Em 1956, a realidade virtual sai do âmbito militar e encontra a indústria de entretenimento, quando o cineasta Morton Heilig inventa o Sensorama, um simulador baseado em vídeo (figura 3). Este equipamento, uma espécie de cabine com uma bicicleta acoplada, expunha o usuário a uma combinação de sensações visuais, auditivas, odoríferas e táteis com a junção, em um mesmo equipamento, de vários recursos, tais como: imagens de vídeo em estereoscopia, som estéreo, vibrações mecânicas, aromas, e ar movimentado por ventiladores. Tudo isso para criar um ambiente de imersão no espectador, fazendo-o pensar estar em um passeio de bicicleta por Nova York. O equipamento não obteve sucesso comercial, mas hoje pode ser considerado o precursor das chamadas CAVES, ou salas de imersão (Machado, 1995).

Em 1958, a empresa Philco desenvolve um sistema baseado em dispositivo visual: um par de câmeras remotas e o protótipo de um capacete com monitores controlado pelos movimentos do usuário, que permitiam ao usuário um sentimento de presença quando dentro de um ambiente. O sistema tinha um rastreador de posição no capacete e permitia ao usuário controlar remotamente uma câmera de televisão a partir dos seus movimentos da cabeça. Este protótipo seria o precursor do chamado *Head Mounted Display*, ou capacete de imersão (Wikipédia).

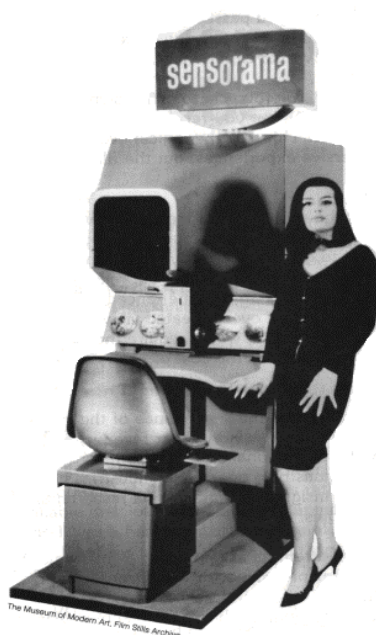


Figura 3: Propaganda do Sensorama. Precursor dos sistemas de RV .

FONTE: Machado, 1995

Em 1965, Ivan Sutherland, considerado por muitos o pai da computação gráfica, lança as bases conceituais do que viria a ser a realidade virtual propriamente dita, quando sugere ser possível construir monitores de vídeo capazes de mostrar imagens computacionais tão realísticas que seriam confundidas com coisas reais. Em 1968, ele constrói o primeiro capacete de visualização com imagens geradas por computador, o que para muitos é o marco inicial da Realidade Virtual como é entendida hoje em dia.

Sobre seu invento escreve Sutherland:

“Não pense nessa coisa como um monitor de vídeo, mas como uma janela através da qual pode-se observar um mundo virtual. O desafio para a computação gráfica é fazer este mundo parecer real, gerar som de forma real, mover-se em resposta à interação do usuário em tempo real e, se possível, ser sentido de forma real.”

Em 1977 e 1982, apareceram as primeiras luvas desenvolvidas respectivamente pelo grupo composto por Dan Sandin, Richard Soyre e Thomas Defanti na Universidade de Illinois e por Thomas Zimmerman, para serem acoplados a computadores (Kirner, 2004).

O ano de 1987 marca a entrada da Realidade Virtual no mercado, quando a empresa VPL Research Inc, da qual Zimmermam foi um dos fundadores, colocou pela primeira vez produtos de realidade virtual no mercado com a comercialização da luva “Data Glove”. Em seguida, a empresa também passou a vender um capacete de visualização chamado “Eye Phones” (idem).

Desde então, pode ser observado um desenvolvimento progressivo e acelerado dos hardwares de RV, assim como o rápido barateamento dos mesmos, facilitando o seu acesso. Como observa Kirner (2004):

“(...) o avanço das pesquisas, o elevado interesse industrial, o crescimento das aplicações e um número crescente de usuário vêm provocando um crescimento enorme na demanda de componentes e produtos de realidade virtual e uma redução rápida nos preços, movimentando um mercado multi-milionário de crescimento extraordinário.”



Figura 4: Moderno sistema de realidade virtual por projeção para revisão de projetos industriais.

FONTE: VRcontext

### 1.3. Tipos de sistemas de RV e equipamentos de imersão

Os sistemas de RV diferem entre si de acordo com os níveis de imersão e interatividade proporcionados ao usuário. Estes níveis, por sua vez, dependem do tipo de dispositivos de entrada e de saída utilizados no sistema: hardwares de imersão (*Lumas de Dados*, *Head Mounted Displays*, sistemas de projeção como *Cave*, monitor estereoscópico, óculos 3D,

rastreadores de movimento), recursos do software de RV, capacidade de processamento do CPU e detalhamento gráfico do espaço representado (modelamento geométrico, mapeamento de texturas, qualidade de renderização, etc.), como expõe o esquema da figura 5.

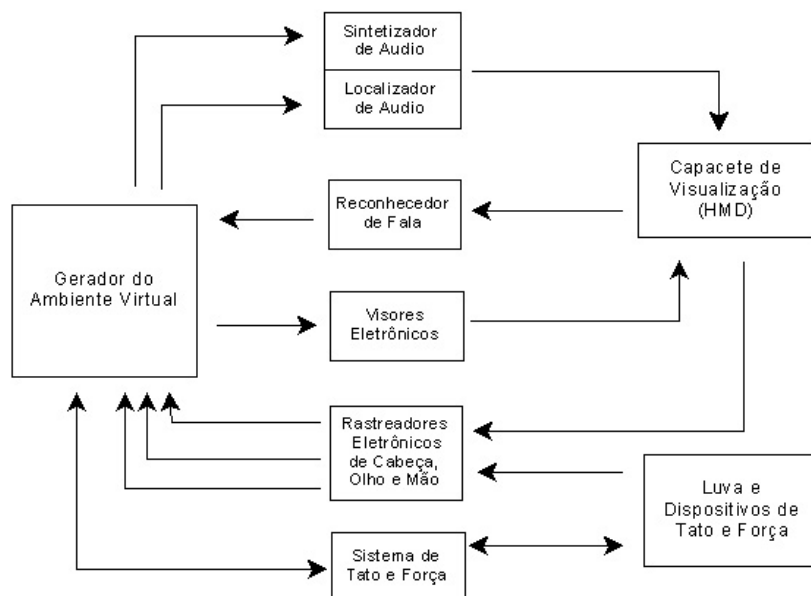


Figura 5: Estrutura de um Sistema de RV Imersivo com Ênfase nas Interfaces. FONTE: Kirner, 2005

Segundo a tipologia desenvolvida por Pimentel & Teixeira (1995), de forma geral, as aplicações de RV podem ser classificadas como:

- 1) *RV de Simulação*: Sistema mais antigo, surgido com os simuladores de vôo após a Segunda Guerra mundial nas Forças Armadas dos EUA. Procura reproduzir em uma cabine fechada o ambiente de comando de um carro, avião ou tanque de guerra. A cabine possui telas que reproduzem imagens em estéreo, que simulam um mundo virtual, que reagem ao comando do participante e que sugerem movimentação do equipamento.
- 2) *RV de Projeção*: O usuário está fora do mundo virtual, mas pode se comunicar e interagir com personagens e objetos nele contidos. Este tipo de RV pode ser representado pelo *Videoplance*, sistema desenvolvido nos anos 70 por Myron Krueger, que capturava a imagem dos usuários e a projetava em uma grande tela,

inserindo-as em um mundo virtual, onde eles podiam interagir uns com os outros e manipular objetos, podendo fazer uso de Luvas de Dados (figura 6).



Figura 6: Sistema de RV de Projeção. FONTE: Gattass

3) *Realidade Aumentada*: Utiliza dispositivos transparentes acoplados à cabeça do usuário, o que permite que este receba e visualize dados, como animações, gráficos 3D e diagramas, sem que este perca a visibilidade do mundo real, possibilitando assim uma sobreposição dos dados gerados por computador aos dados do mundo real (figura 7).

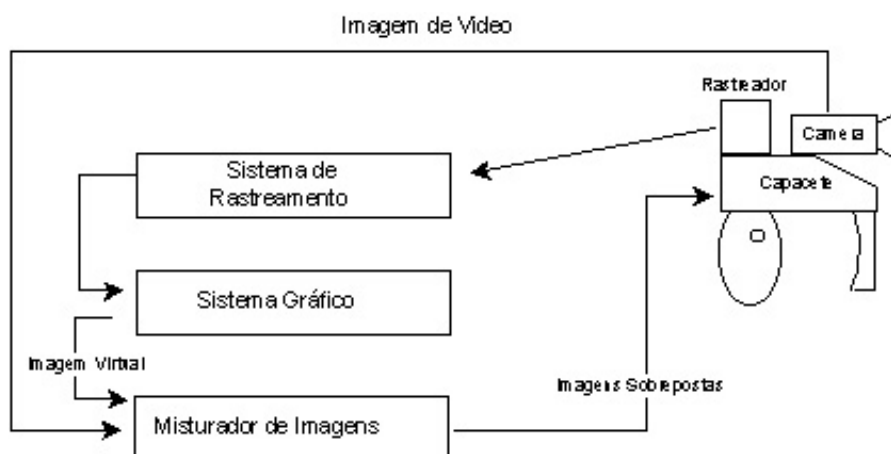


Figura 7: Sistema de realidade aumentada. FONTE: Kirner, 2005



- 4) *Tele-presença*: Segundo Machado (2002), esta forma de realidade virtual tem por objetivo estender as capacidades motoras e sensoriais de um operador humano, bem como as suas habilidades de resolução de problemas, para um ambiente remoto. A tele-presença pressupõe a participação de algum equipamento fisicamente separado de um operador humano. O usuário executa ações que são traduzidas em tarefas executadas pelo equipamento (tele-robô, veículo operado remotamente, etc.) localizado em um ambiente remoto, ao mesmo tempo em que há uma realimentação de sensações ao operador humano, que se sente como se estivesse presente no ambiente remoto (figura 8).

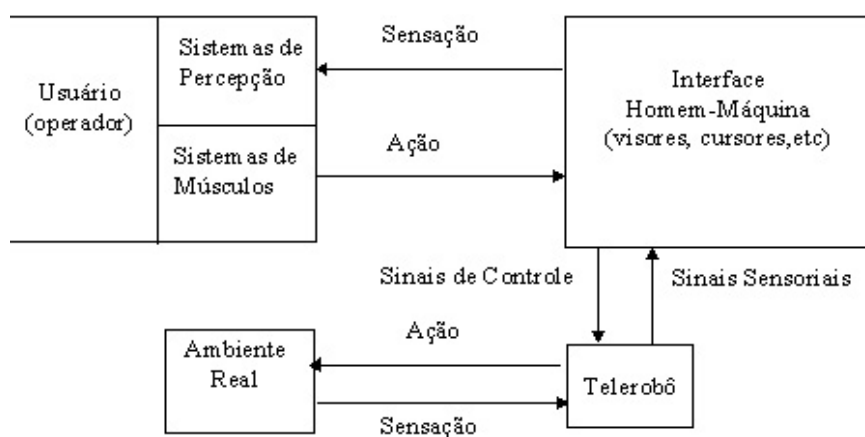


Figura 8: Esquema de sistema de realidade aumentada. FONTE: Kirner, 2005

- 5) *Displays Visualmente Acoplados*: Neste sistema de RV, as imagens são exibidas diretamente aos usuários por intermédio de um equipamento conhecido como *Head Mounted Display* (HMD), uma espécie de capacete que projeta o mundo virtual diretamente nos olhos do participante (figura 9). Além disso, o HMD é capaz de rastrear os movimentos da cabeça do participante, sincronizando-os com a exibição do mundo virtual, e possui dispositivos auditivos que geram sons em estéreo 3D, o que faz com que o usuário possa localizar espacialmente as fontes emissoras dos estímulos auditivos presentes no mundo virtual.

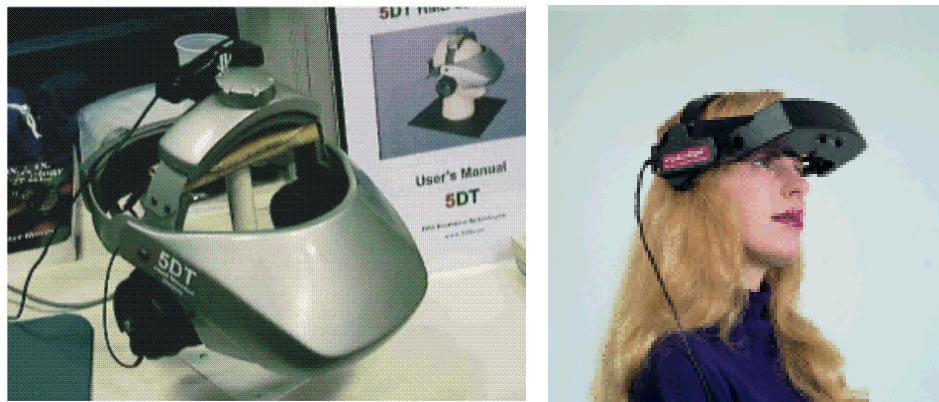


Figura 9: *Head Monted Display*. FONTE: Gattass

6) *CAVEs (Cave Automatic Virtual Environments)*: As *CAVEs* consistem em salas de multi-projeção, ou seja, salas em que as paredes são na verdade telas semi-transparentes onde são projetadas imagens do mundo virtual, permitindo que uma ou mais pessoas fiquem totalmente imersas no ambiente virtual (figura 10). A projeção é feita por projetores posicionados atrás de cada uma das paredes da *CAVE*, pode ser estereoscópica e as imagens podem ter tamanho natural. O participante pode usar óculos 3D e sistemas de rastreamento e interação, além de receber estímulos auditivos através de sistema de áudio 3D. As *CAVEs* são os sistemas mais complexos de realidade virtual e por isso demandam alta capacidade de processamento gráfico e grandes investimentos em hardware. No Brasil, a Petrobrás possui *CAVEs* para visualização de dados geofísicos e geotectônicos 3D para estudos de exploração de petróleo. Algumas instituições acadêmicas, como a USP, também já possuem *CAVEs* para projeção de mundos virtuais e estudos nas áreas de medicina, arquitetura e atividades industriais.



Figura 10: Caverna virtual da Poli-USP. FONTE: Site da Poli-USP

- 7) *RV de Mesa (ou Desktop RV)*: Sistema mais simples de RV que, por conseguinte, oferecem um nível menor de imersão. Sua interface se assemelha à de jogos de computador. Consiste em navegar pelo mundo virtual através de um PC e monitor comum ou estéreo. O usuário é representado e explora o mundo virtual a partir da visão de um ser humano virtual (avatar). Estes sistemas permitem a geração de imagens e sons em estéreo 3D, dependendo dos recursos de hardware (placas de vídeo) e software (recursos do programa de RV). Pode fazer uso de mouses 3D, também chamado de 6DOF (*Degrees of Freedom*: para frente/trás; para cima/baixo; para esquerda/direita).

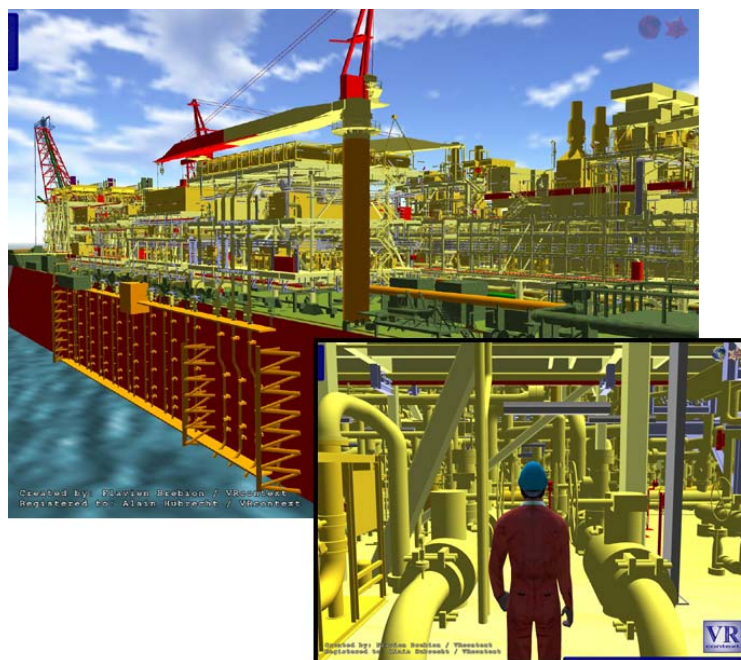


Figura 11: Realidade Virtual de Mesa (ou RV *Desktop*)

É importante frisar que este trabalho irá se restringir a um nível de imersão básico, fazendo uso de um sistema de realidade virtual *desktop*, semelhante ao nível de imersão obtido nos jogos de vídeo game. Entretanto, dado aos recursos oferecidos pelo software utilizado, o modelo final estará pronto para ser operado com níveis de imersão mais complexos, como o uso conjunto de hardwares de entrada e saída de dados, óculos obturadores, luvas de dados, mouse 3D (6DOF) e sistemas de projeção diversos, chegando-se até mesmo no nível de imersão das CAVES.

#### **1.4. A integração RV\GIS\WWW: Novos paradigmas na visualização e análise de dados geográficos**

No âmbito das geotecnologias, a realidade virtual começa a ser vista, ainda que de forma insipiente, como uma interface ideal para o aprimoramento da representação, percepção e análise do espaço geográfico. Diversos termos como VRGIS (*Virtual Reality Geographical Information System*), GeoVR, VE (*Virtual Environments*) e GVis (*Geography Visualization*) aparecem cada vez mais frequentemente em trabalhos de pesquisadores de áreas diversas, como Geografia, Engenharia, Ciências da Computação, e Arquitetura. Essa área de estudo procura encontrar estratégias para integrar a estrutura do geoprocessamento

aos recursos de computação gráfica próprios da realidade virtual, de preferência em um ambiente corporativo, como o da Internet.

Segundo Fosse e Veiga (2003), a cartografia sempre buscou representar o mundo real, tridimensional, em um plano. Porém, com o desenvolvimento tecnológico ocorrido nas últimas décadas, surge um novo desafio, que é o de representar tridimensionalmente o mundo em um ambiente computacional, ambiente este onde as três dimensões do espaço (altura, largura e espessura) podem ser visualizadas, juntamente com a quarta dimensão temporal.

Trabalhando com uma representação tridimensional, em contraposição aos convencionais mapas estáticos da tradição cartográfica, estes mecanismos são dinâmicos, com a possibilidade de interferência e interação do usuário. Tal forma inovadora de representar o mundo busca trazer a realidade mais facilmente ao usuário, além de proporcionar a ele a sensação de fazer parte desta realidade. Os dados geográficos são então explorados de forma imersiva, ampliando-se o potencial de gerar *insights* durante as análises visuais e incursões pelos mundos virtuais “povoados” por geodados.

A vantagem da visualização de dados em três dimensões e de técnicas comumente utilizada em sistemas de RV, como o uso de óculos estereoscópicos, fica clara diante da estimativa de que 50% dos neurônios humanos são envolvidos no processo de visão. Segundo Van Driál (1989), citado por Fosse e Veiga (2003), a tridimensionalidade estimula ainda mais neurônios neste processo, envolvendo assim uma grande parte de nosso cérebro na análise visual das interações espaciais e solução de problemas espaciais.

É no sentido de utilizar os recursos tecnológicos disponíveis para gerar uma representação cartográfica mais próxima, interativa e intuitiva de nossa relação com o mundo real, que permita uma análise mais eficaz, dinâmica e cooperativa do espaço geográfico e dos fenômenos naturais e sociais que nele ocorrem, que vemos muitos esforços teóricos e práticos se voltarem para a integração da Realidade Virtual com o Geoprocessamento. Além da disponibilização e acesso dos produtos desta integração através da internet. O objetivo último desta integração seria, portanto, o de diminuir as distâncias entre a realidade e a sua representação. Os tradicionais conceitos da cartografia devem, portanto,

ser revistos e também absorvidos diante das possibilidades instauradas com a emergência dessas novas técnicas de representação.

Entendemos que existe uma ligação intrínseca entre a cartografia, e mais especificamente o geoprocessamento, e a chamada área de computação gráfica, âmbito em que surge a realidade virtual. Ambas buscam o mesmo objetivo, que seria a manipulação de dados do mundo real, no sentido de gerar representações destes, que podem ser usadas pra um melhor entendimento das relações entre as diversas camadas de informações geográficas. Segundo Huang e Lin (1999):

“Computers graphics techniques have been extensively used in GIS. However, VR technology, which enables users to move towards a finer emulation of the complexities of the ‘real world’, offers new and exiting opportunities to visualize and explore GIS databases.”=

Arzu Cöeltekin (2003), por sua vez, lança a proposição de se usar a avançada interface homem-máquina da realidade virtual como a nova interface para usuários de GIS. Segundo ele, uma interface GIS sempre foi uma “*Graphical User Interface*” (GUI) e o GIS 3D *on-line*, que ele afirma ser a nova tendência no geoprocessamento, requer uma GUI especial, que surgiria justamente da integração VR\GIS\WWW.

Ainda segundo Cöeltekin (2003), a RV está de alguma forma proximamente relacionada com o GIS, pois irá sempre incluir dados espaciais, possibilitando ao usuário interagir com os objetos. No âmbito do GIS, tipicamente, os conjuntos de dados estão próximos do sentido tradicional dos mapas, mas, ainda assim, representam uma forma renovada de interação com os objetos dentro de um conjunto de dados. Desta forma, poder-se-ia pensar na RV como uma forma estendida de GIS, quando os resultados de uma análise poderiam retornar ao usuário em forma de um determinado *feedback* sensorial (imagens, sons, movimento, força, etc.) do objeto no ambiente, assim como uma caixa de texto ou um *menu* de resultados (figura 11).

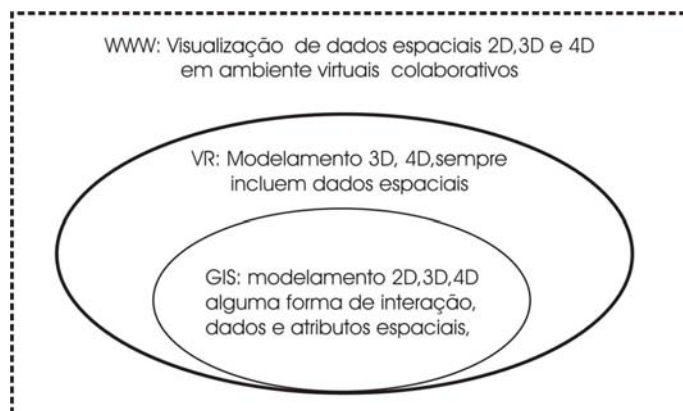


Figura 12: Integração GIS\VR\WWW. FONTE: Cöeltekin (2003)

Para Campos (2004), esta integração vai além da simples agregação de valores de ambos os lados. Ou seja, acrescentar o uso de dados georeferenciados ao processo de geração de modelos de RV e enfatizar a natureza exploratória do GIS, e, do outro lado, agregar a multi-dimensionalidade ao conceito de GIS. Esta integração teria o potencial de melhorar as funcionalidades de ambos os campos, de forma a superar a simples soma deles, abrindo-se a possibilidade de acrescentar a dimensão temporal aos Sistemas de Informações Geográficas. Segundo o autor:

“When VR and GIS are combined in a single application, new possibilities and opportunities arise, helping to solve old problems and address new questions not attempted yet. These features are enhanced when the temporal dimension is added to the VRGIS framework, producing what became known as temporal VRGIS”. (2004: 23)

O conceito de Temporal VRGIS seria, segundo o autor, o produto do avanço em pesquisas em três campos de estudo do GIS, a saber:

- 1) **Apresentação de dados:** Lida com a forma dos dados e equipamentos de saída e entrada dos mesmos. O desafio aqui seria, primeiramente, dar um passo à frente nas tradicionais representações bidimensionais dos dados geográficos, para representá-los tridimensionalmente em um meio bidimensional. A RV, com seus sistemas e aparatos de visualização, ofereceria uma variada gama de possibilidades de visualização ao usuário, indo da RV não imersiva, passando pela visualização estereoscópica até o ambiente totalmente imersivo das CAVES. Estas formas de visualização poderiam ser usadas separadamente ou simultaneamente, aumentando

a capacidade de comunicação, colaboração e análise qualitativa dos dados apresentados e das relações entre eles.

- 2) **Interação espacial:** Refere-se à manipulação de dados pelo usuário. Tradicionalmente, ela corresponde a ações como a mudança de visualização dos dados através de Zoom ou Pan em um mapa, selecionar e apagar um objeto, manipular a geometria ou localização de objetos ou observar a distância entre dois objetos.

A RV, com suas características de imersão, ofereceria um novo tipo de interação espacial com os dados geográficos, permitindo a visualização destes a partir de pontos de vistas ilimitados, a movimentação intuitiva de objetos no espaço e o estímulo da percepção do usuário para outras características dos objetos como texturas, peso, sons, tamanho, etc.. Tais elementos aconteceriam na medida em que o usuário se tornaria parte integrante do conjunto de dados. Outra vantagem muito importante ao GIS seria o aprimoramento da habilidade do usuário de perceber o espaço de forma mais sensorial e poder identificar as restrições impostas pelos objetos do modelo em relação a eles mesmo e aos observadores.

- 3) **Interação temporal:** Segundo Machado (op. cit) a interação temporal refere-se à exploração e apresentação de informações que mudam no tempo. A RV seria a interface que, por meio de sua característica de reprodução de modelos em tempo real, agregaria ao GIS a dimensão temporal, permitindo análises de padrões de mudanças no espaço e no tempo. Para tanto seria necessário o desenvolvimento de ferramentas de interação para que o usuário possa manipular o comportamento de objetos no modelo em tempo real. Assim, poder-se-ia observar tendências de mudanças espaço-temporais e gerar simulações realistas para visualizar tais tendências em ambientes virtuais dinâmicos.

Desta forma, a investigação técnico-teórica da integração da Realidade Virtual como GIS não deveria se restringir apenas ao domínio espacial no que diz respeito à melhoria da representação, percepção e análise do espaço tridimensional. Esta deveria também se voltar



para o desenvolvimento de interfaces que dêem suporte à inserção da dimensão temporal nas tradicionais análises espaciais do GIS.

Para alguns autores, como os já citados, os conceitos tradicionais da cartografia bidimensional devem ser, portanto, revistos diante deste novo paradigma. Entretanto, alguns fazem ressalvas quanto à manutenção de alguns conceitos que correm o risco de serem negligenciados com as possibilidades de representações ultra-realísticas suportadas pelos sistemas de RV.

MacEachren et al. (2000) trata o produto da integração VR\GIS como *Virtual Enviroments for Geographic Visualisation* (GeoVE). Ele entende que a hipótese de trabalho que sempre permeou as pesquisas relacionadas à chamada ViSC (Visualization in Scientific Computing) é a de que os métodos mais eficientes de representação visual de dados serão aqueles que melhor tirarão proveito dos sistemas sensoriais e cognitivos humanos desenvolvidos para a interação com o mundo real, o que implicaria na busca contínua pelo máximo de realismo na representação dos objetos, fato que requereria apenas modestas mudanças conceituais.

Entretanto, a questão seria mais complexa no âmbito de desenvolvimento dos GeoVEs, onde a questão tem sido a integração e extensão dos métodos cartográficos, de análise de imagens e análises exploratórias de dados. Segundo o autor:

(...) the application of VE technologies to geovisualization lags behind that of ViSC more generally and poses special challenges associated with the kinds of information depicted, methods developed over several decades for depicting that information, and the problems to which the information is applied.”

É neste sentido que MacEachren et al. (op. cit.) faz uma análise crítica sobre as pesquisas voltadas à geração de ambientes virtuais, quando em sua maioria buscam alcançar uma réplica do objeto representado. Ele alerta para o fato de que alguns conceitos aplicados à cartografia 2D, como a abstração e a generalização cartográfica, devem ser preservados na cartografia 3D (ou 4D). Portanto, este autor elabora a seguinte tipologia para classificar o tipo de representação segundo o nível de abstração que deve ser observado:

- **GeoVEs espacialmente icônicos:** Modelos em que as três dimensões do ambiente apresentado são usadas para representar as três dimensões do espaço físico. Como o caso das maquetes eletrônicas e modelos digitais de terrenos. Neste caso há um baixo nível de abstração cartográfica, quando a qualidade do modelo depende do detalhamento da aparência dos objetos geográficos, consistindo em modelos mais descritivos e qualitativos.

No entanto, apesar deste tipo de ambiente virtual buscar a verossimilhança com o real, apresentando dados concretos da paisagem, atribuições de características visuais como cor, texturas e padrões, podem ser usadas para acrescentar informações abstratas (declividade, temperatura, uso do solo, etc.) aos modelos icônicos.

- **GeoVEs espacialmente semi-icônicos:** Modelos onde uma das três dimensões pode ser usada para representar informações não geográficas, como o tempo ou concentrações de um elemento químico no solo (figura 12).

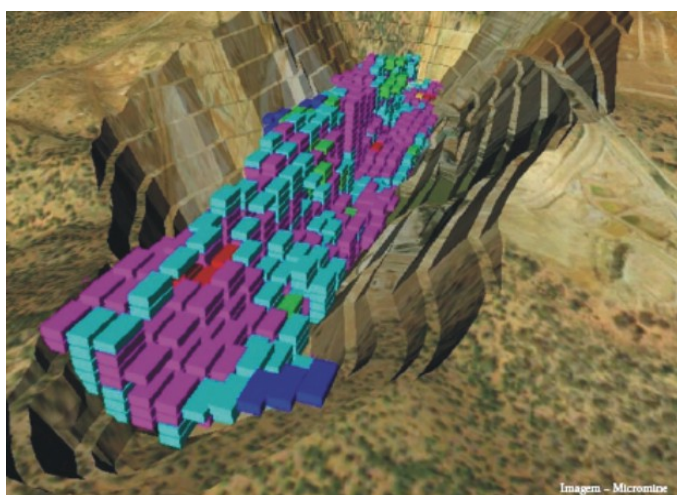


Figura 13: Representação em modelo de blocos de concentração de Fe no solo (abstrato) e modelo digital de terreno com textura (icônico)

- **GeoVEs abstratos:** Modelos em que as três dimensões são usadas para transformar informações exclusivamente não espaciais em dados espacializados, no sentido de um melhor entendimento das relações entre determinadas variáveis. Não

obstante, o autor faz uma ressalva: para que estas representações abstratas produzam *insights* geográficos, faz-se necessário ligá-las a representações mais icônicas.

Quanto à inevitabilidade de se manter o conceito de generalização cartográfica colocada por MacEachren, entende-se que este conceito já esteja naturalmente considerado nos sistemas de realidade virtual em tempo real, pois existe a necessidade de uso de algoritmos, como o *Frustum Culling*, que filtram os detalhes da cena que se situam fora do alcance de visão do observador e que são mostrados somente quando o campo de visão se aproxima dos objetos observados.

Gahegan et al. (2000) considera de fundamental importância as pesquisas na área que ele denomina de “*Geovisualization*” ou, abreviadamente, GVis, no sentido em que ela pode ser aplicada a todos os estágios da análise geográfica na resolução de problemas, desde o desenvolvimento de hipóteses iniciais, até a descoberta de conhecimentos, análises, apresentação e avaliação.

O autor entende que a visualização de dados geográficos se insere em um campo mais amplo da pesquisa em visualização de informações, que tem sido desenvolvido em quase todas as disciplinas científicas, e que por isso deve ser um tema prioritário na agenda de estudos de geógrafos e cartógrafos, profissionais que podem trazer contribuições teórico-metodológicas fundamentais para o desenvolvimento deste campo de pesquisa.

Ele considera que apesar da visualização de informações estar bem próxima da cartografia e oferecer um grande potencial de avanços nesta área, não se trata propriamente de cartografia, e que “nós estamos atualmente em um ponto onde pesquisas básicas nos aspectos teóricos e conceituais, assim como metodológicos, da visualização geográfica é necessária e crítica”.

Os geógrafos e cartógrafos, devido a sua secular base de conhecimentos na representação da terra, devem assumir a iniciativa de liderarem este amplo movimento em direção à elaboração de uma agenda de prioridade nos estudos de visualização de informações geográficas. Alguns geógrafos já tomaram esta iniciativa e vêm elaborando projetos e

criando grupos de estudo em GVis. Alguns destes estudos de casos estão disponíveis na Web e podem ser experimentados. A seguir são citados alguns deles:

- 1- *Time-Series Animation Techniques for Visualizing Urban Growth*, U.S. Geological Survey, EUA: Projeto de visualização do crescimento ao longo do tempo da área construída da cidade de Baltimore, Washington. Animações de perspectivas tridimensionais foram geradas a partir de imagens de diferentes períodos históricos sobrepostas a dados digitais de elevação, e os quadros foram importados para se elaborar um vídeo mostrando a progressão histórica da mancha urbana.  
<http://www.geom.unimelb.edu.au/envi/automap/Acevedo/ACEVEDO.HTM>
- 2- *Potential Application of VRGIS and RS in Forest Fire Hazard Monitoring - I*. Setiawan, A.R. Mahmud, and S. Mansor, Malásia: Este estudo procurou integrar o uso do sensoriamento remoto com técnicas de VRGIS. Dados derivados da análise de imagens de satélites foram usados para definição de parâmetros de comportamento do alastramento de incêndios em uma região, o que permitiu o desenvolvimento de um sistema que previne e simula incêndios para o monitoramento a longo prazo de risco de incêndios.
- 3- *Apoala Project*: Este projeto busca a integração de três áreas de pesquisa: 1) técnicas de análise e modelamento de banco de dados espaço-temporais; 2) visualização espaço-temporal (4D); e 3) técnicas de processamento paralelo de alto-desempenho. O objetivo é estabelecer um sistema integrado de sistemas de informações geográficas temporais e sistemas de visualização que possam suportar um vasto espectro de aplicações em ciências ambientais e suporte de decisões.

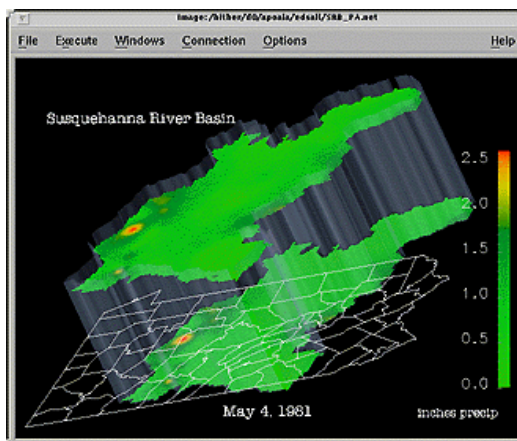


Figura 14: Visualização de intensidade de precipitação de chuva sobre bacia hidrográfica ao longo do tempo.

4 – *Centre for Landscape Research* (Canadá): Grupo multidisciplinar dedicado ao avanço do técnico e teórico nos campos de desenho e planejamento urbano na região dos Grandes Lagos e regiões subárticas. As ferramentas utilizadas por esse grupo são: GIS, simulações visuais, modelamento comparativo e projeções temporais. Através destas técnicas de visualização, o grupo busca compreender os fatores dinâmicos que modelam constantemente a paisagem daquela região para propor soluções para os problemas decorrentes de seu desenvolvimento (figura 14).

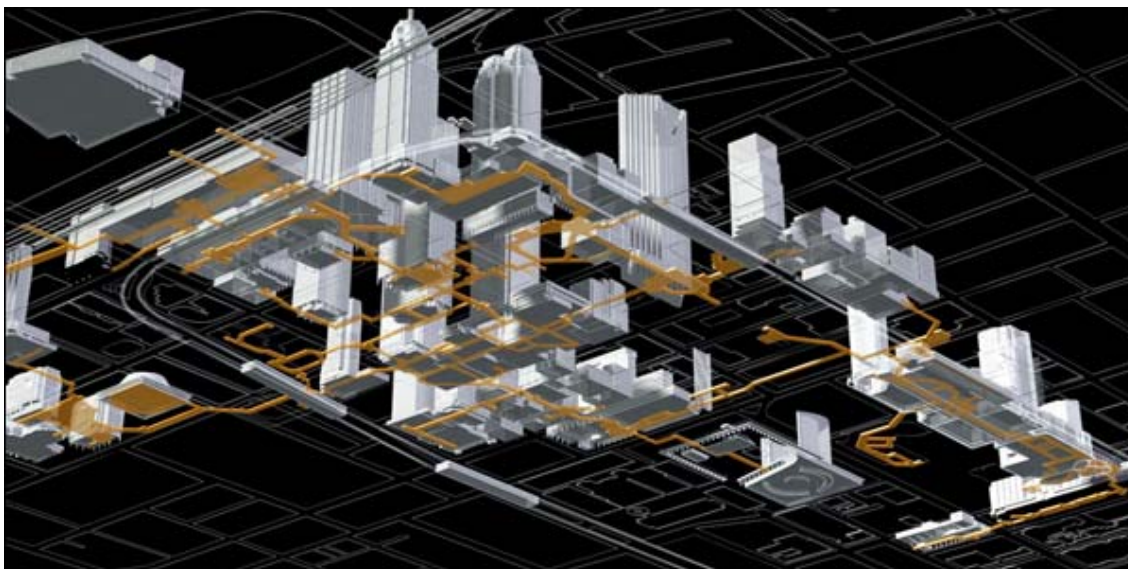


Figura 14: Modelamento 3D em tempo real de 30 Km da infra-estrutura subterrânea da cidade de Toronto, Canadá

4 – Los Angeles Virtual – O *Urban Simulation Team* ligado ao Departamento de Arquitetura da UCLA, está criando um modelo interativo da cidade de Los Angeles, EUA, cobrindo mais de 4000 milhas quadradas de espaço urbano. O modelo é bastante detalhado, contendo a localização exata dos sinais de trânsito, postes e até mesmo hidrantes, além das edificações com aplicações de texturas foto realísticas. Este sistema de simulações provê o usuário com navegação interativa e ferramentas de manipulação, permitindo a exploração de cenários de planejamento alternativos ao longo do tempo e do espaço. Segundo seus criadores, o real poder das simulações é o de permitir a inclusão de todos no processo de planejamento, sejam eles *experts* ou leigos. Arquitetos, designers, desenvolvedores e consultores são capazes de identificar problemas reais e remediá-los antes mesmo que “o primeiro buraco em um novo empreendimento seja cavado.” (Dodge, 1998).



Figura 15: Modelo de simulação urbana de Los Angeles. Fonte: Dodge, 1998

À luz das pesquisas que objetivam o aprimoramento da visualização e representação de informações geográficas, o presente trabalho pretende demonstrar que uma representação do espaço geográfico, elaborada dentro dos parâmetros de imersão, visualização em tempo real, interação e simulação, próprios da Realidade Virtual, respeitando-se os requisitos de georeferenciamento, tratamento digital de imagens, modelamento digital de terreno, estrutura em camadas de informação e recuperação de informações armazenadas em

bancos de dados, característicos de um Sistema de Informações Geográficas, pode resultar em uma otimização das potencialidades analíticas para ambos os campos de estudo, fornecendo uma interface entre o usuário final e o espaço representado, tida como mais próxima daquela que, na realidade, mantemos com nosso meio (Figura 16).

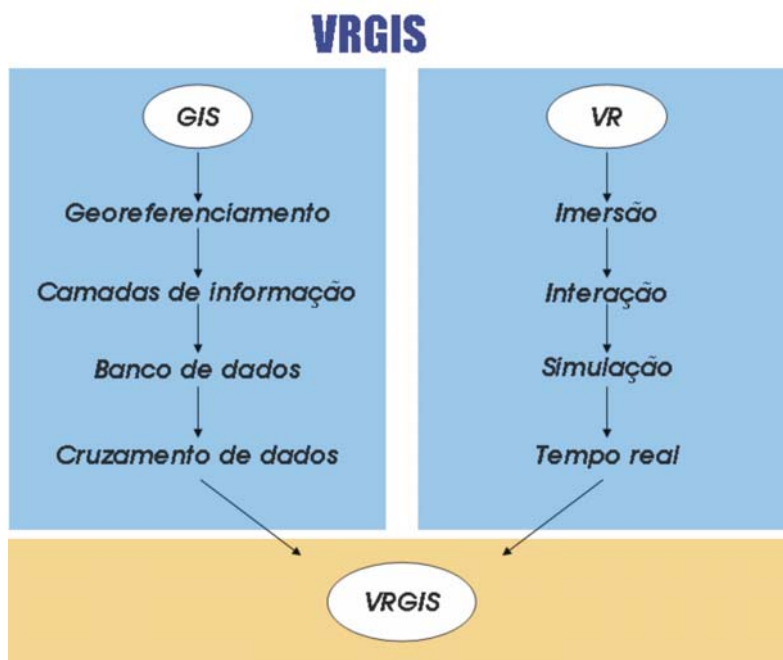


Figura 16: Esquema ilustrando a integração de conceitos da RV com os do GIS no VRGIS

O advento das chamadas cidades e mundos virtuais, que proliferam a cada dia na *Web*, e a popularização do software *GoogleEarth*, que possibilita o acesso a representações virtuais do mundo a todos aqueles que têm acesso a um computador com conexão com a Internet, apontam para uma tendência na representação 3D dos dados geográficos, no sentido de melhor compreensão de suas relações e contradições por parte dos leigos nas técnicas cartográficas.

Isto, por sua vez, pode ser entendido como uma forma de democratizar as ações e as decisões sobre as transformações na paisagem, quando, em um futuro próximo, espera-se que todos possam compreender e tomar parte dos processos decisórios no que toca à transformação do espaço onde se encontram inseridos.

## **CAPÍTULO 2: Proposta de modelagem de uma cidade**

Neste capítulo, descreveremos os materiais, softwares e procedimentos metodológicos utilizados do desenvolvimento do estudo de caso de modelamento tridimensional com renderização em tempo real da região de Catas Altas. Um sub-capítulo foi reservado para a descrição das funcionalidades do software de realidade virtual empregado, no intuito de se fazer a conexão destas com possíveis aplicações típicas dos sistemas de geoprocessamento de dados.

O software não se destinar especificamente para aplicações de GIS, sendo mais voltado para área de engenharia e o mercado de óleo e gás, energia e segurança. Entretanto, procura-se demonstrar que esse software de RV, como outros tantos disponíveis no mercado ou gratuitamente disponíveis através da Web (como por exemplo, a linguagem VRML), possui um grande potencial de integração com o GIS e suas aplicações. Principalmente no que se refere à apresentação de dados geográficos, estudos de impacto visual de empreendimentos na paisagem, simulações de alteração de paisagem, consulta a bancos de dados durante sessões de RV e geração de ambientes virtuais colaborativos (multi-usuário).

### **2.1 Metodologia**

#### **2.1.1 Ferramentas utilizadas**

Os softwares utilizados no desenvolvimento deste trabalho foram os seguintes:

- **ArcView 9.1 e extensões 3D Analyst e Spatial Analyst:** software de GIS (integração de dados georeferenciados, geração de modelo digital de terreno, fotointerpretação e vetorização, mapa de declividade e de visibilidade)
- **MicroStation V8:** Software CAD(montagem final dos dados, aplicação de texturas foto realísticas, exportação para RV)
- **SketchUp:** Software de desenho 3D(modelamento tridimensional de feições geográficas)



- **Surpac Minex:** Software de modelamento 3D para mineração(terraplenagem e modelamento simulado de cava de mina).
- **Walkinside:** Software de Realidade Virtual (conversão e renderização 3D em tempo real do modelo).
- **VRWorks:** Software de realidade virtual baseado em técnicas de fotogrametria panoramas (panoramas fotográficos em 360 graus).

### 2.2.2 Desenvolvimento das etapas de trabalho

Para analisar os termos desta possível integração RV/SIG, o trabalho propõe o modelamento da cidade de Catas Altas e seu entorno regional, abrangendo uma área que compreende parte da Serra do Caraça.

O objetivo é fazer o uso integrado de softwares de geoprocessamento, modelagem 3D, análise espacial e RV, no sentido de gerar uma representação tridimensional em tempo real da cidade de Catas Altas e entorno, que posteriormente poderá ser utilizado para os mais diversos fins como: turismo, patrimônio histórico, suporte de decisões, educação ambiental, participação popular e análise de impacto ambiental e visual de empreendimentos.

Serão analisadas as possíveis vantagens na representação e interface de dados geográficos disponíveis no *software* de realidade virtual Walkinside em integração com o software VRWorks, buscando-se sempre explorar os recursos destes para se atingir o máximo de fidelidade em relação à realidade.

Uma vez elaborado o modelo, este servirá de cenário para a proposição de uma situação, que mesmo que fictícia, será propícia à observação e avaliação do potencial de integração da Análise Espacial com a Realidade Espacial.

Após o modelo pronto, ele será usado, juntamente com a extensão *Spatial Analyst*, na aferição de uma análise espacial para suporte na decisão de lugar mais suscetível para se construir uma pousada na região de Catas Altas. A partir dos resultados obtidos na análise visual matemática baseada em campo de visão de um observador em relação aos valores de altitudes de uma DEM (modelo digital de elevação) e um mapa de declividades elaborado no *Spatial Analyst*, serão definidos três locais possíveis para construção da pousada. A definição destes três pontos será feita procurando-se locais a partir dos quais se visualize menos a frente de algumas minas presentes na região e lugares mais planos, para se evitar grandes gastos com terraplenagem. Após isso feito, através de uma navegação virtual pelo modelo a partir da visão de um ser humano virtual e com o apoio das informações texturais fornecidas pela imagem IKONOS, será decidido qual destes lugares seria o melhor para se implementar tal empreendimento. Após este processo, um modelo 3D de uma pousada será inserido neste local, permitindo a previsão da vista que se terá do empreendimento muito antes dele ter sido implantado.

Após isso, será desenvolvido um trabalho de inserção de um modelo de cava de mina e pilha de estéril em um possível local de extração de minério de ferro no sentido de se visualizar o impacto de um empreendimento como este teria na região. O modelo com a mina será sobreposto ao modelo da situação atual da região, e se permitirá o controle da visualização de ambas as camadas de informação (ativação e desativação de camadas).

Desta forma, será avaliado o quanto a Realidade Virtual realmente pode potencializar as funções e estender as possibilidades do Geoprocessamento e vice-versa, assim como medir o grau que essa suposta integração pode chegar, ou seja, até que ponto o corrente termo VRGIS se aplica.

### **2.1.3 Roteiro Metodológico**

O roteiro metodológico deste trabalho pode ser mais bem entendido se dividido em 9 fases:

1.0. Montagem da base de dados no *ArcView*:

*1.1. Fase de Inventário:*

- Levantamento das informações disponíveis sobre a área de estudo como: artigos publicados, relatórios técnicos, bases cartográficas, fotos da região, imagens de satélite, mapas topográficos e temáticos.
- Georeferenciamento dos dados.

Na confecção do modelo tridimensional foram utilizados os seguintes dados coletados:

- Topografia: 1:50.000. Curvas de 20 em 20 m. Formato dgn.  
Fonte: IBGE ([www.ibge.com.gov](http://www.ibge.com.gov))  
1:2000. Curvas de 2 em 2 metros proveniente de levantamento topográfico. Formato CAD.
- Imagem IKONOS. Resolução espacial: 1m/pixel. 8 BIT.  
FONTE: Geoexplore Consultoria e Serviços

### 1.2 Geração de dados:

- Topografia: Com a finalidade de se detalhar áreas onde havia maior necessidade de precisão altimétrica, como no caso da mancha urbana, optou-se por fazer uso de curvas de nível de intervalo menor, de 5 em 5 metros, geradas a partir de imagens contendo dados numéricos de elevação adquirida gratuitamente no site do projeto SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*)<sup>1</sup>.

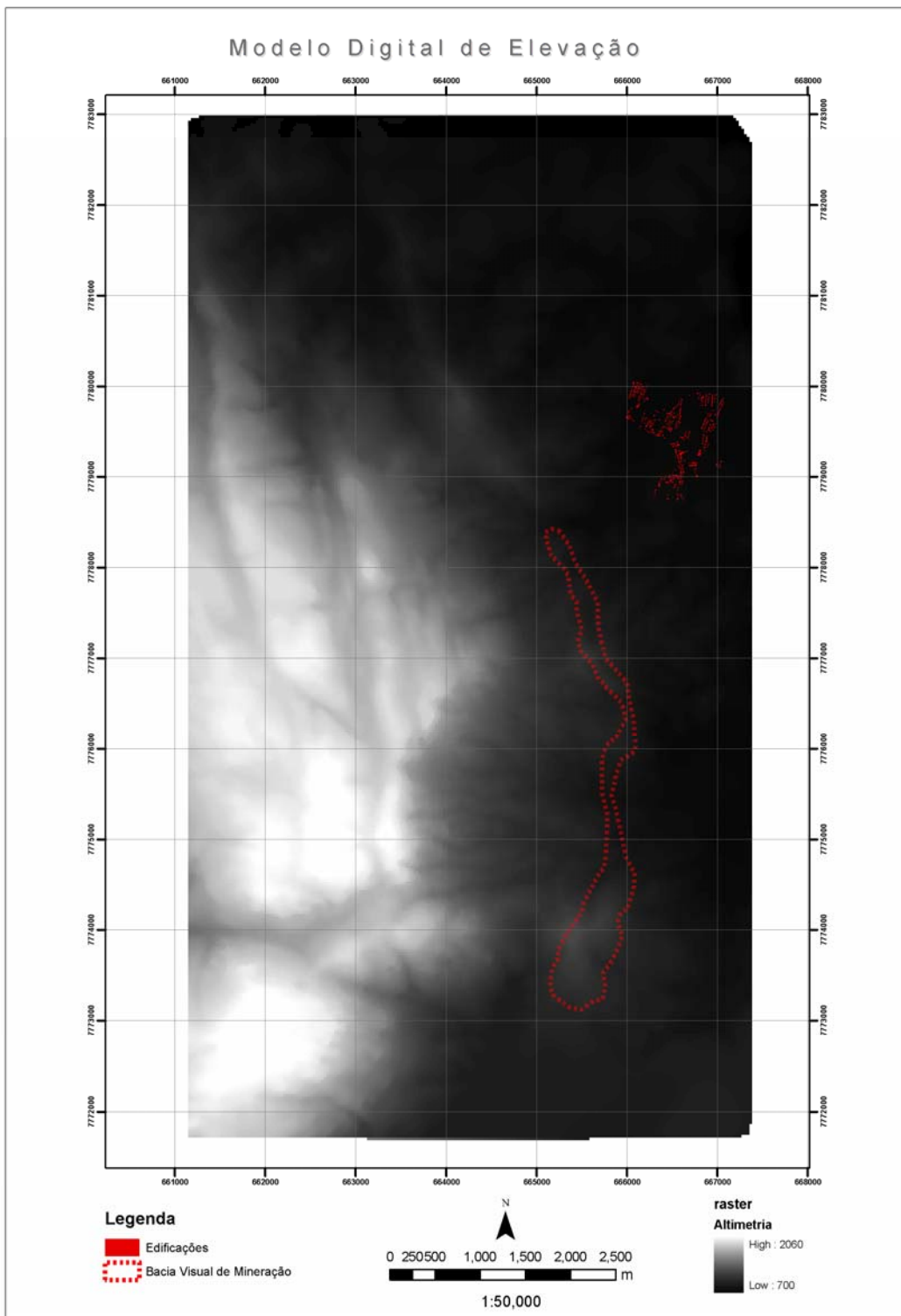
Para se extrair as curvas de nível a partir da DEM (Mapa 1) foram seguidos os seguintes passos:

- 1) *Download* de DEM no site do projeto ([www2.jpl.nasa.gov/srtm](http://www2.jpl.nasa.gov/srtm))
- 2) Utilização do software livre 3DEM para conversão para o formato geoTIF.
- 3) Utilização do ArcView para reprojeção e recorte da área de interesse.

---

<sup>1</sup> O SRTM é um esforço de pesquisa que obteve modelos digitais de elevação em escala global para gerar a mais completa base de dados topográficos de alta resolução da terra até o momento. Em 11 dias de missão duas antenas radar captaram, através do método de interferometria, informações altimétrica que foram pós-processadas e transformadas em modelos digitais de elevação formato *raster*.

4) Utilização do software livre OpenEV para reamostragem da imagem do original de 90m/pixel para 30m/pixel usando o interpolador *Cubic Spline*.



Mapa 1 – Modelo Digital de Elevação

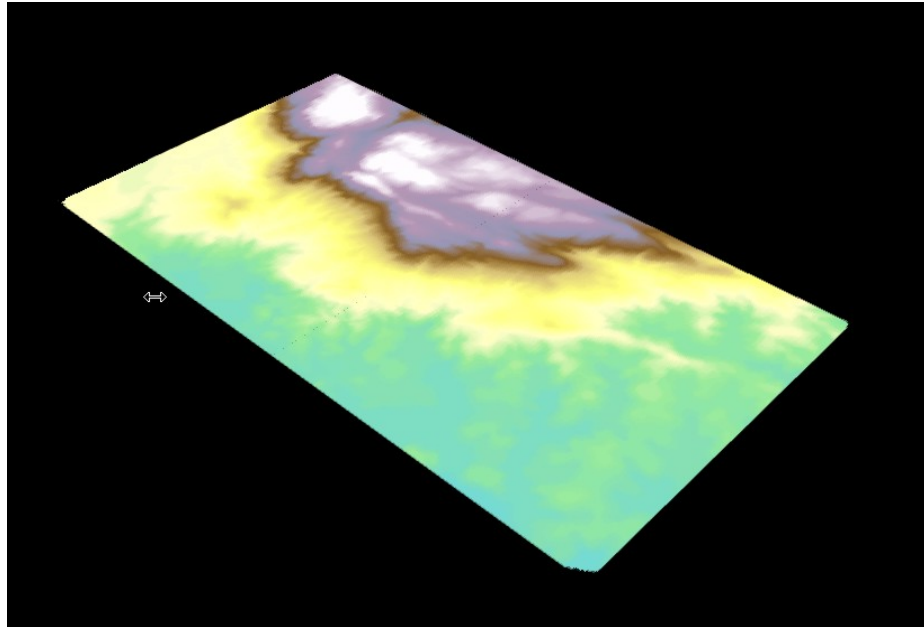


Figura 17: Modelo Digital de elevação (DEM) adquirida no site do projeto SRTM.

5) Geração de contornos com intervalo de 5 em 5 metros utilizando a extensão 3D Analyst do ArcView (figura 18).

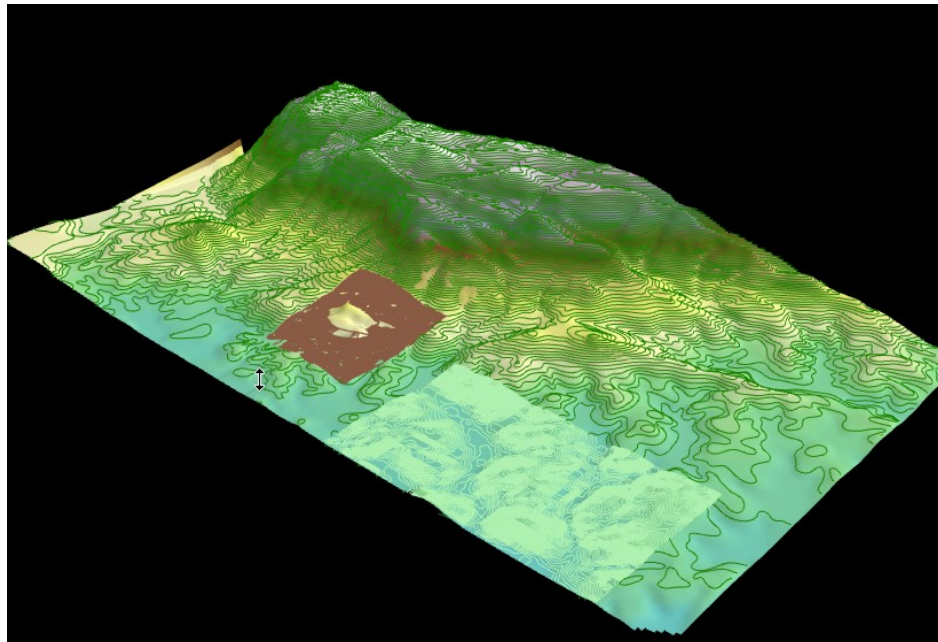


Figura 18: Em branco, curvas de nível extraídas de modelo digital de elevação.

A reamostragem da imagem para 30 metros com o método *Cubic Spline* foi necessária para se obter isolinhas de geometria mais suave.

- Estrada: Vetorização no *ArcView* a partir de imagem IKONOS da Estrada Real

- Mapa de Declividade e Visibilidade:

- 1) Geração de mapa de declividade com a extensão *Spatial Analyst* e reclassificação de *raster* gerado para uma escala de declividade qualitativa em relação à suscetibilidade para a construção de empreendimentos.

- 2) Geração de mapa de visibilidade a partir da estrada real com a ferramenta *Viewshed*, da extensão *Spatial Analyst*.

### *1.3. Migração de dados CAD para Shapefiles no ArcView:*

- Seleção de layers relevantes.

- Exportação e separação temática e topológica (linhas, pontos, polígonos) de *shapefiles*.

- Limpeza topológica.

### *2.0. Geração de modelo digital de terreno no ArcView com extensão 3DAnalyst:*

- Atribuição de alturas (valores Z) às curvas de nível 1:50.000, fonte IBGE, através de campo na tabela.

- Integração topológica dos dados de topografia com a inserção de base de dados levantada e gerada na base mais abrangente do IBGE e junção em um único *shapefile*, com o objetivo de refinamento do modelo digital de terreno em áreas de maior interesse: a mancha urbana e a área da mina simulada (figura 19).

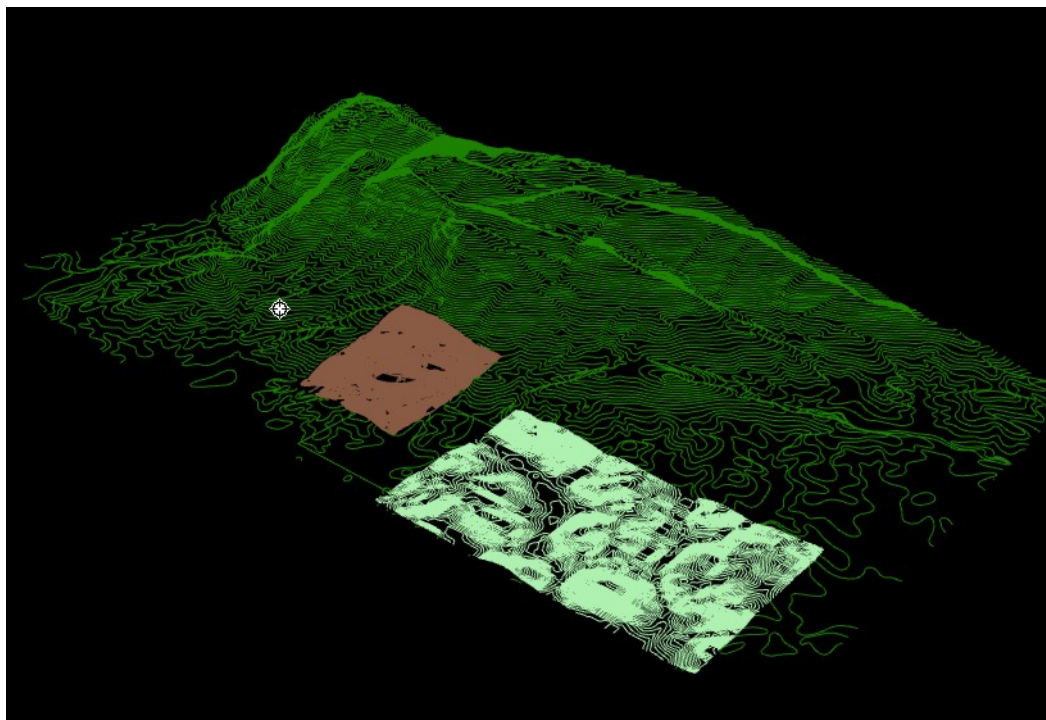


Figura 19: Integração topológica de dados de elevação de diferentes densidades.

- Interpolação, através do método de interpolação *Delauney*, das curvas de nível e pontos cotados com a extensão *3DAnalyst* para se gerar uma Rede Irregular de Triângulos (TIN).
- Conversão das curvas de nível para pontos com a extensão *XToolbox* do *ArcView*, conversão para 3D segundo atributos de altura do bancos de dados e conversão para o formato DXF.

### 3.0. Modelamento 3D das edificações urbanas existentes:

- Vetorização de edificações da cidade de Catas Altas a partir de imagem IKONOS georeferenciada na resolução de 1m/pixel e notação do tipo de telhados (duas águas, quatro águas, etc.).

- Trabalho de campo:
  - Coleta de informações altimétricas das edificações do entorno da praça central.
  - Registro fotográfico das fachadas e desenho de croquis das edificações localizadas ao redor da praça central (figura 20)
  - Registro fotográfico panorâmico a partir de pontos de controle (coleta de coordenadas com GPS) ao redor da praça<sup>2</sup>.
  - Tratamento das imagens coletadas no software Photoshop (geração de mosaicos e ocultação de objetos indesejáveis).
  - Geração de tabelas com alturas calculadas a partir das medições feitas em campo



Figura 20: Registro fotográfico de fachadas das edificações

- Atribuição de base de alturas aos polígonos das edificações a partir da base de alturas da TIN.
- Exportação do *shapefile* produto da vetorização de edificações para o software *SketchUp* através de *plug-in*.
- Modelamento 3D das edificações a partir de polígonos georeferenciados segundo os dados altimétricos coletados (figura 21). Detalhamento de tipos de telhado.

---

<sup>2</sup> No presente trabalho não foi necessário este procedimento já que os dados já haviam sido coletados em trabalho anterior desenvolvido pelo Departamento de Cartografia da UFMG.



- Conversão para o formato DXF.

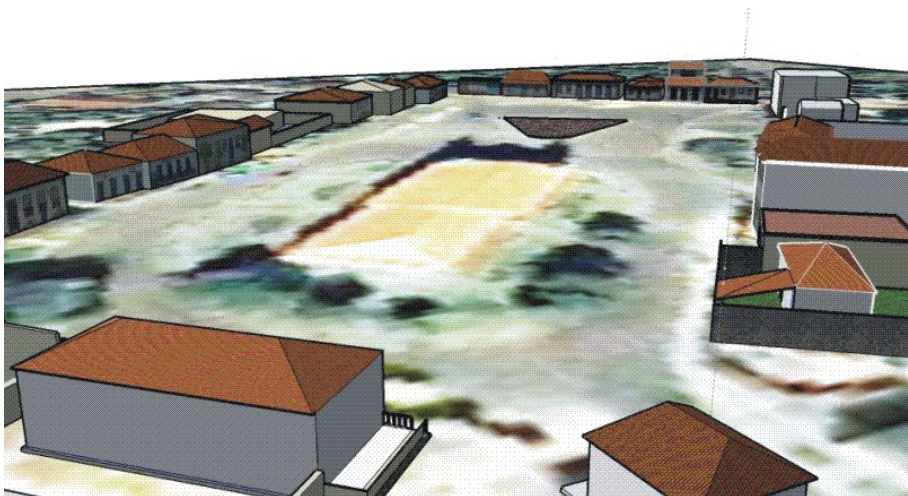


Figura 21: Modelamento 3D das edificações

#### 4.0 Geração de navegação panorâmica em 360° no software VRWorks:

*4.1 Procedimentos de campo: Na obtenção das fotos panorâmicas em 360° é necessário seguir o seguinte procedimento:*

- Calibrar a inclinação vertical e horizontal do tripé.
- Acoplar uma câmera com objetiva de 35mm. a uma estação total ou teodolito.
- Tirar fotos com deslocamento angular regular de 20 graus a partir de um ponto definido até completar um ângulo de 360 graus. No caso foram produzidas 18 imagens.

*4.2 Procedimentos de processamento dos dados:*

- Descarregar as fotos em um computador com o software VRWorks instalado.
- Tratamento das imagens coletadas no software *Photoshop* (ocultação de objetos indesejáveis e objetos móveis).

- Entrada com os dados de calibração (distância entre as fotos de 50%, espessura de lente).
- Pré-processamento automático de mosaicagem de panorâmicas;
- Refinamento manual de sobreposição de fotos
- Processamento automático final de mosaicagem de panorâmicas;

### 5.0. Integração de dados no software MicroStation:

- Exportação do MDT e das edificações 3D para o formato DXF.
- Inserção das edificações sobre modelo digital de terreno nos locais correspondentes às imagens satélite como referências do *Microstation*.
- Aplicação de fotos de fachadas como texturas, na face frontal dos polígonos que representam as edificações (figura 22).

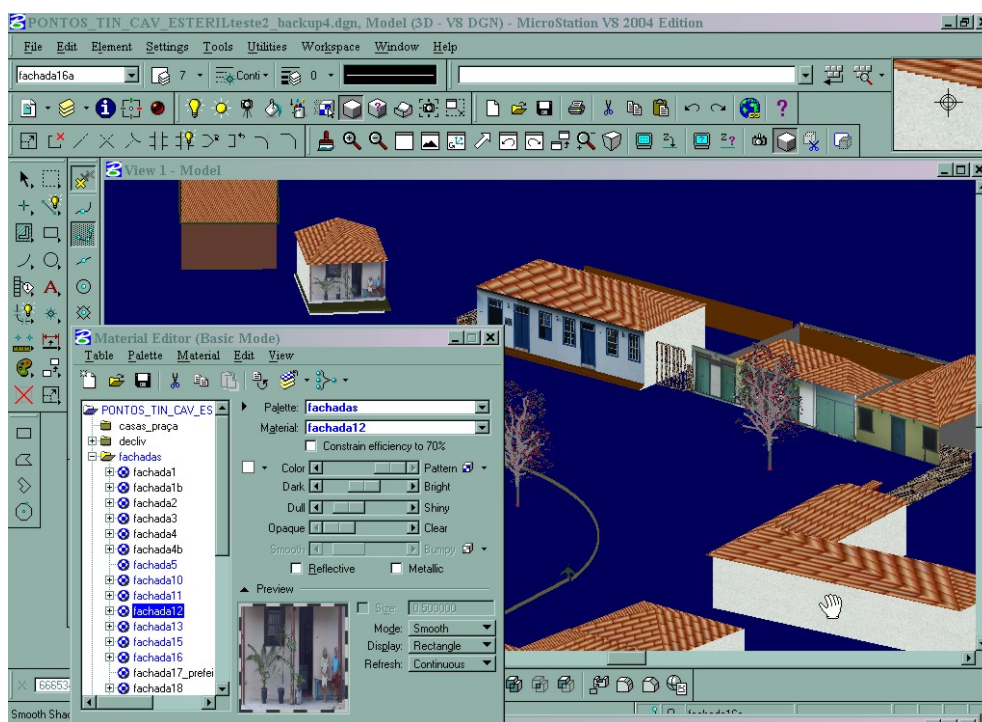


Figura 22: Aplicação de fotos de fachadas nos polígonos das edificações.

- Sobreposição (*drape*) de imagem satélite IKONOS ao MDT a partir de coordenadas de canto e número de colunas e linhas (figura 23).

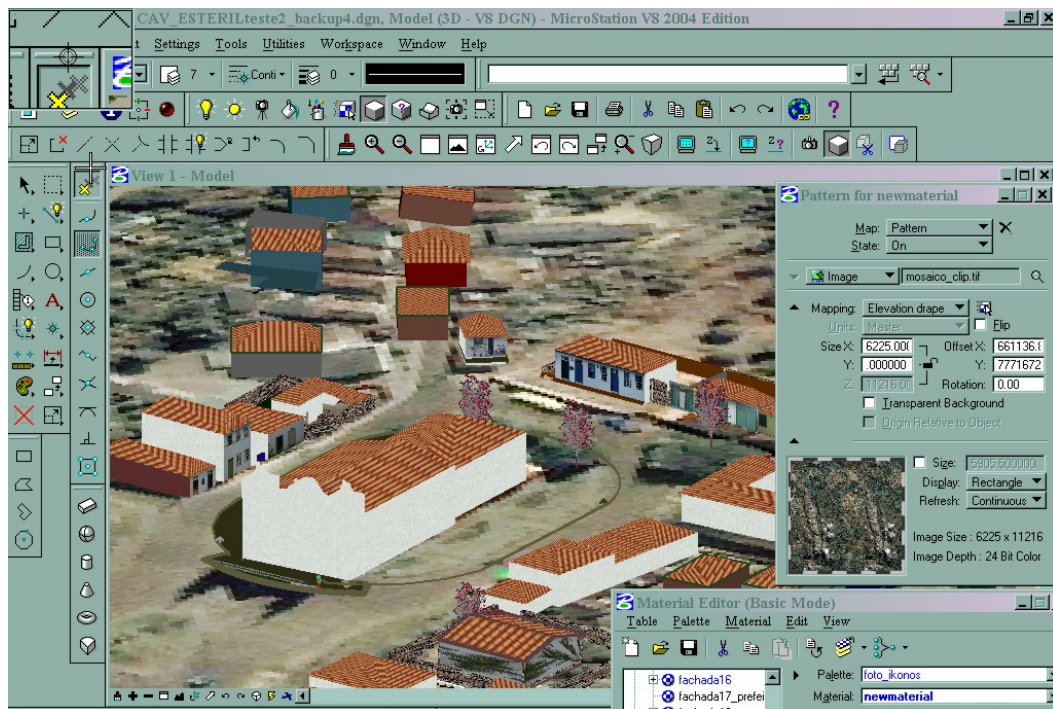


Figura 23: Aplicação sobreposição de imagem satélite a MDT

- Inserção do mesmo MDT como referência e aplicação de *rasters* de declividade e visibilidade como texturas a partir de coordenadas de canto e definição de número de linhas e colunas.
- Inserção de objetos (células) que deverão ser repositórios dos *hyperlinks* nos pontos de visada onde os panoramas foram coletados; no caso, foram usados modelos 3D de câmeras com tripés para representar estes *hyperlinks*.
- Exportação para o formato de realidade virtual do software Walkinside.

### 6.0 Modelamento de empreendimento hipotético e terraplenagem.

- Modelamento 3D da planta do novo empreendimento no *SketchUp*<sup>3</sup>.
- Terraplenagem da TIN no local escolhido para a construção do novo empreendimento no software *SurpacVision*.
- Navegação em tempo real no modelo usando as ferramentas do *Walkinside* para ligar e desligar camadas de informação como o mapa de declividade e de visibilidade, medições de distância, mapa 2D de localização e relação com o espaço construído no sentido de encontrar o melhor lugar para inserir o modelo.
- Inserção do modelo através do *Microstation* no local escolhido e conversão para RV.

### 7.0 Modelagem de variáveis ambientais e geração de Hiperlinks:

- Inserção no modelo de variáveis ambientais (multidões, sons, etc.) com o editor de simulações do *Walkinside*, no sentido de buscar mais realismo.
- Gravação de vídeo para apresentações de projeto (opcional).
- Inserção de *Hyperlinks* para arquivos produzidos no software *VRWorks*, nos pontos de visada onde os panoramas foram coletados.

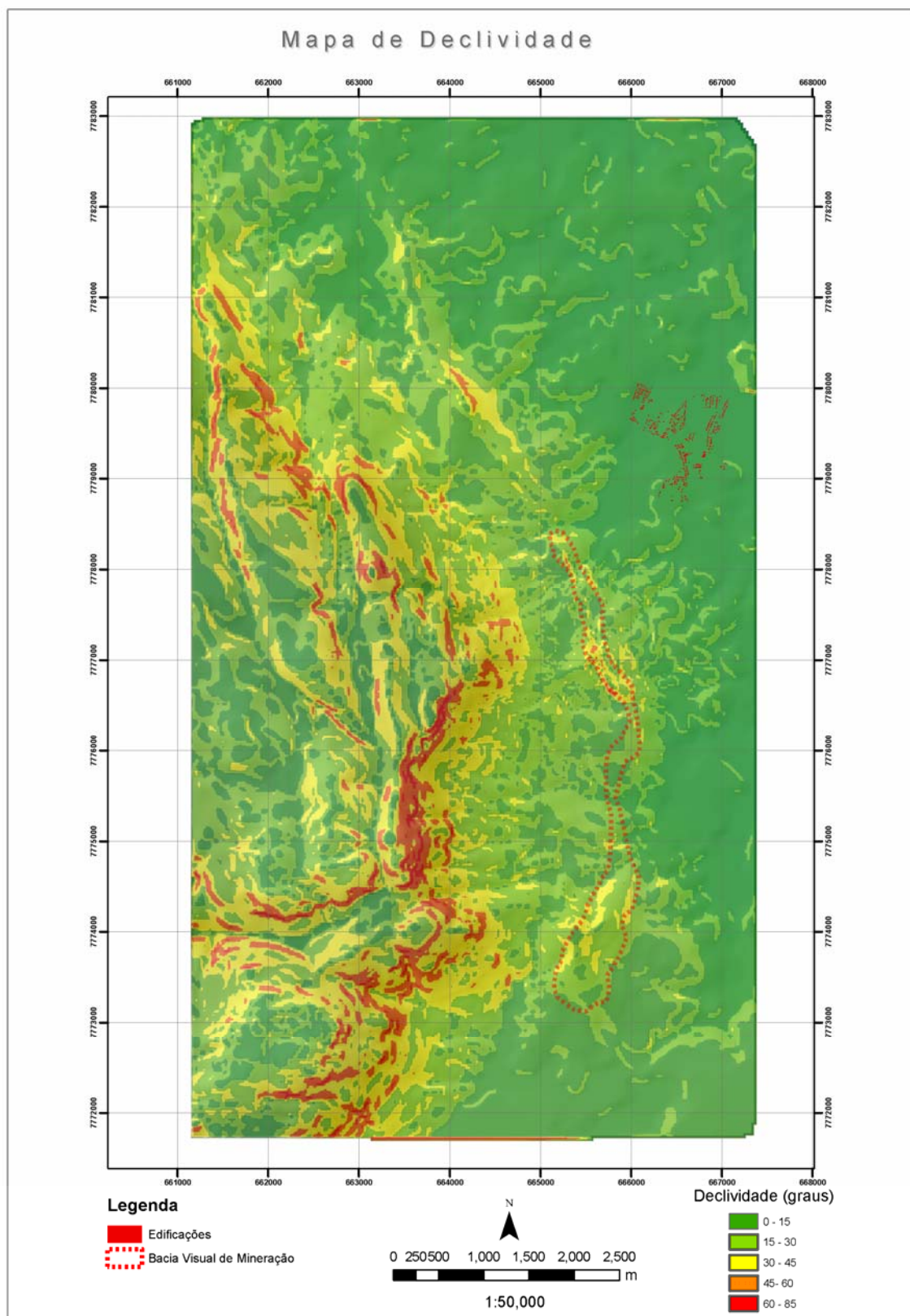
### 8.0 Análise de suscetibilidade para instalação de uma pousada

- Elaboração de um mapa de declividade (Mapa 2), escala de 1:50.000, a partir do modelo digital de elevação, e uso de álgebra de mapas para geração de um mapa de declividades menores ou iguais a 15 graus de inclinação (Mapas 3).

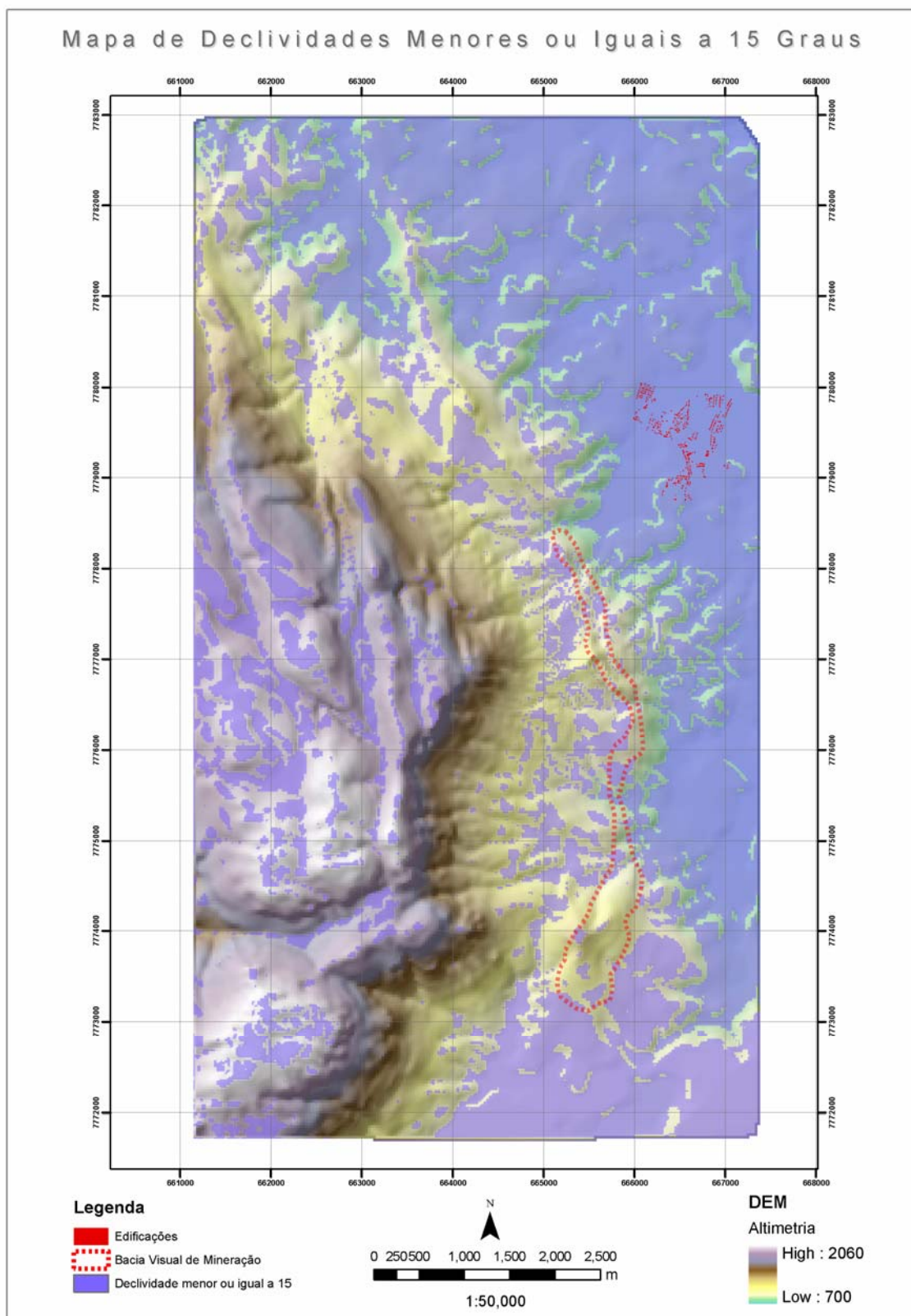
---

<sup>3</sup> Neste trabalho, devido restrições de tempo, utilizamos um modelo previamente desenhado no software SketchUP disponível na internet em um banco de modelos 3D de usuários do software ([www.sketchup.google.com/3Dwarehouse](http://www.sketchup.google.com/3Dwarehouse))

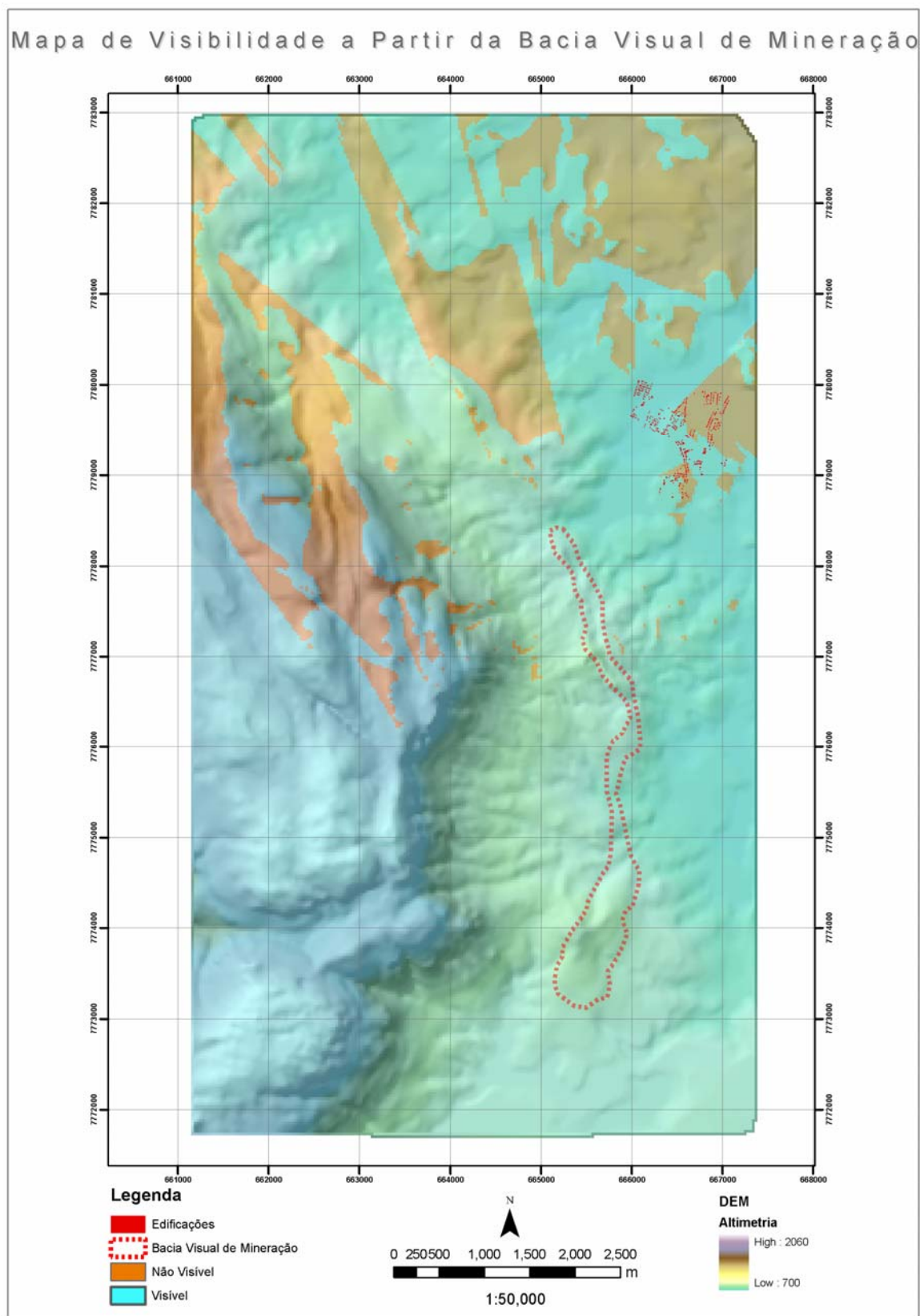
- Análise espacial a partir de DEM, (ferramenta *Viewshed*, da extensão *Spatial Analyst*) para definição do campo visual de um observador de 2 metros de altura, localizado sobre a superfície do modelo, com a elaboração de um mapa de visibilidade que identifica a partir de quais pixels da DEM este hipotético observador poderia enxergar a frente de mineração (Mapa 4).
- Reclassificação de mapa de visibilidade usando álgebra de mapas para geração de um mapa de não visibilidade em relação á bacia visual de mineração (Mapa 5).



Mapa 2 – Mapa de declividade

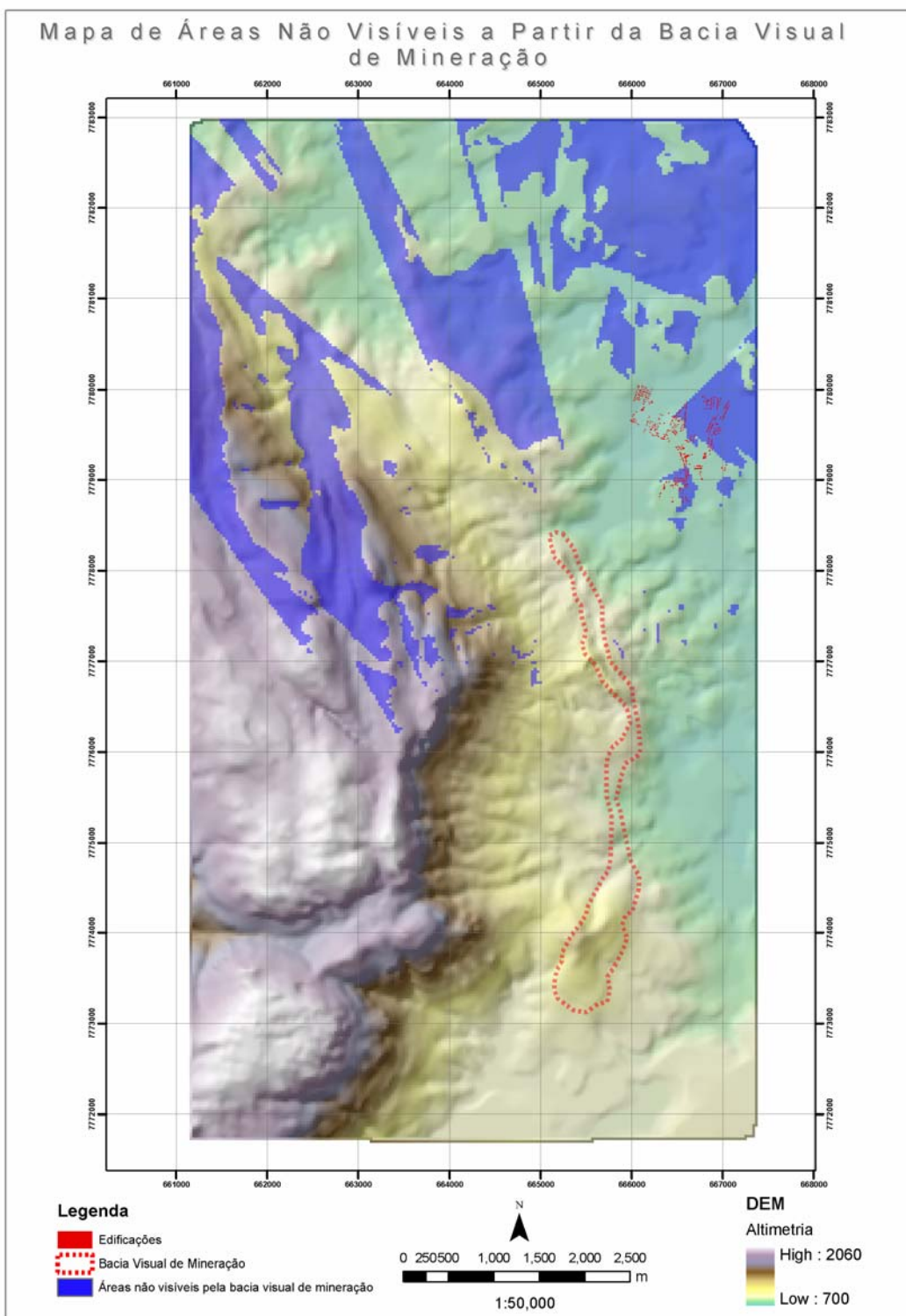


Mapa 3 – Mapa de declividades menores ou iguais a 15 graus



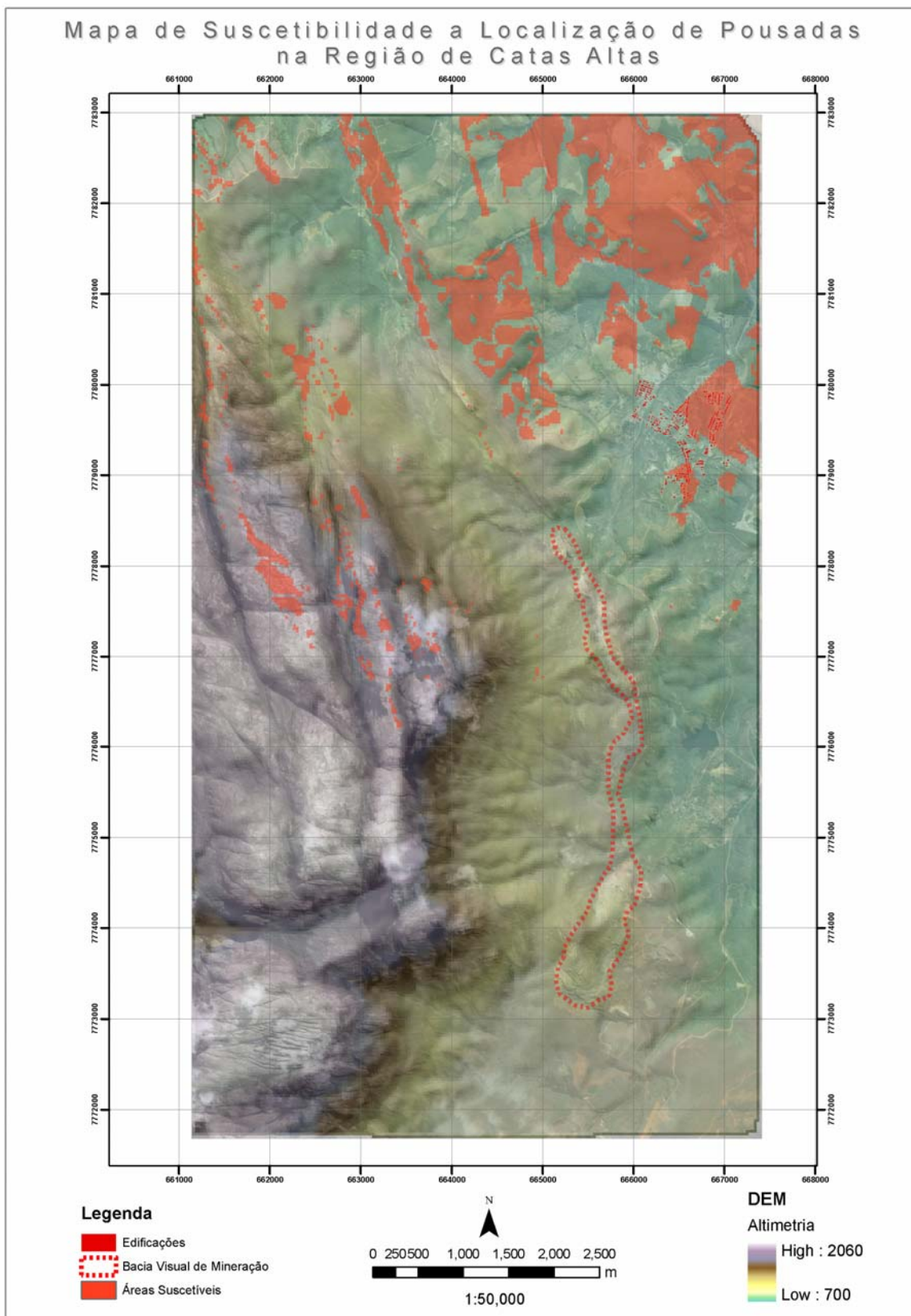
Mapa 4 – Mapa de áreas visibilidade a partir da bacia visual de mineração





Mapa 5 – Mapa de áreas não visíveis a partir da bacia visual de mineração

- Utilização de álgebra de mapas para somar os dois mapas reclassificados e gerar um mapa de zonas mais suscetíveis para localização de pousadas segundo os dois critérios utilizados (Mapa 6). Todo o processo da análise é ilustrado na figura. 24.



Mapa 6 – Mapa de suscetibilidade a localização de pousadas na região de Catas Altas, MG

## ANÁLISE DE SUPERFÍCIES

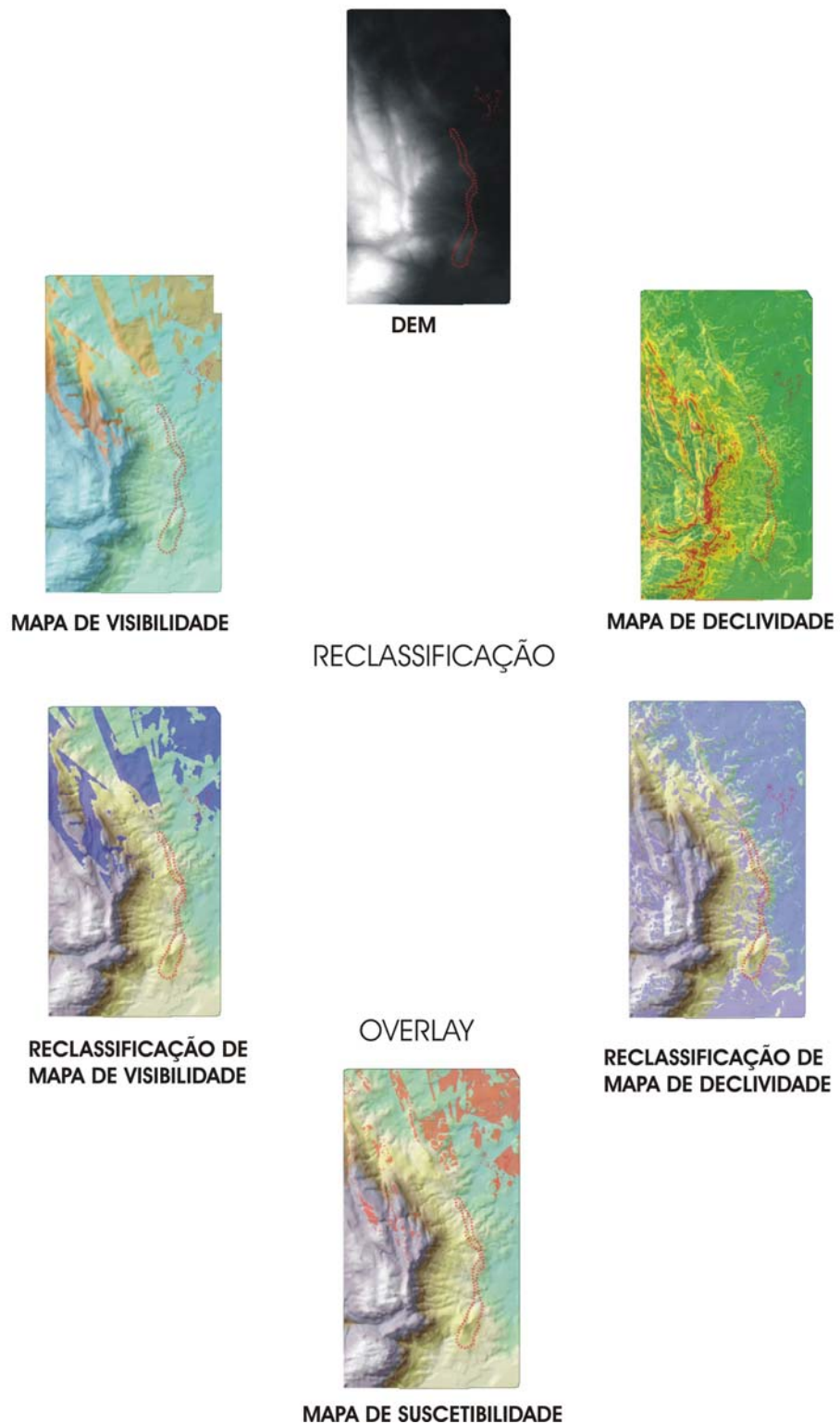


Figura 24: Fluxograma de análise espacial

### 9.0. Escolha de melhor local através de navegação 3D assistida por mapa 2D

- Navegação no modelo em realidade virtual de Catas Altas, assistida pelo mapa 2D resultante da análise espacial para escolha de melhor local para a pousada. É importante notar que a localização do observador no modelo 3D é indicada no mapa 2D no canto da tela (Figura 25).



Figura 25: Escolha do melhor local para se implantar uma mina no Walkinside com o auxílio de visualização 2D de resultado da análise espacial que teve como critérios declividades abaixo de 15 graus e não visibilidade em relação às minas da região

- Inserção do modelo tridimensional do empreendimento no local escolhido (*Microstation*) e conversão para RV (Figura 26).

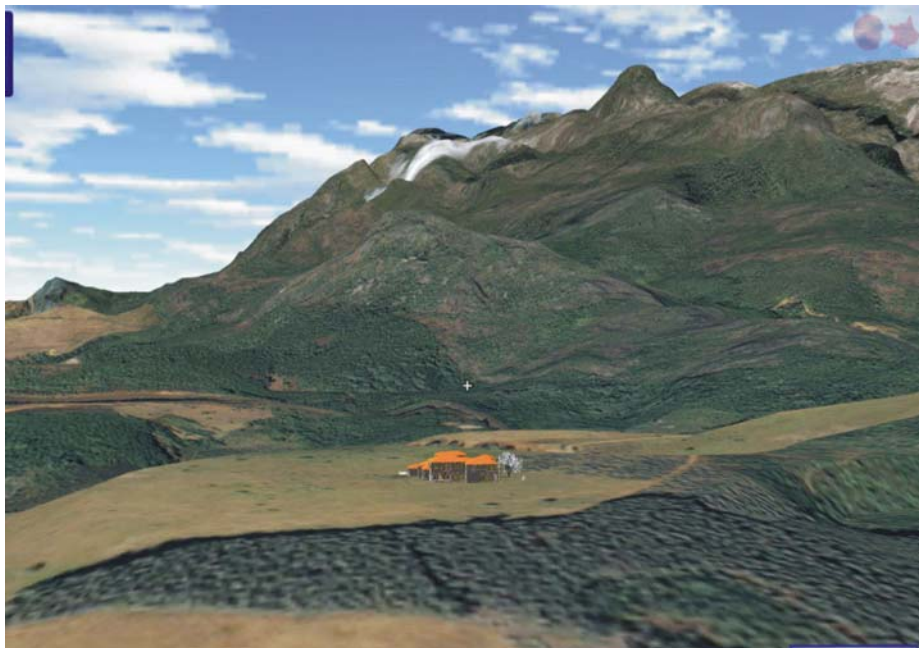


Figura 27: Pousada no local escolhido

## CAPÍTULO 3 - Resultados

### 3.1 Walkinside: Realidade Virtual em Tempo Real

O software de RV utilizado neste trabalho é o *Walkinside*, programa desenvolvido pela empresa belga VRContext. A idéia do Walkinside surgiu durante um projeto da empresa de energia Tractebel Engineering, como uma solução para o desafio de se visualizar de forma simples e rápida, grandes modelos 3D de instalações industriais, com alto nível de complexidade. Devido a este fato estes modelos demandavam bastante tempo de processamento computacional e experiência em softwares CAD por parte do manipulador dos modelos.

A solução encontrada foi a utilização de tecnologia já corrente em jogos de vídeo game, já que nestes ambientes virtuais, até mesmo leigos em CAD poderiam manipular, de forma intuitiva, complexos modelos tridimensionais gerados por computador. A primeira versão do *Walkinside* foi desenvolvida sobre a plataforma do game em primeira pessoa *Quake*, o que permitiu a manipulação do modelo por diversas equipes técnicas, que encontraram no aplicativo uma plataforma comum e intuitiva, o que auxiliou na dinamização das tomadas de decisão e aperfeiçoou a construção do projeto em questão.

O software permitiu a conversão do modelo 3D texturizado para uma plataforma em realidade virtual com renderização em tempo real. A renderização, como já foi citado neste trabalho, pode ser entendida como o processo de se representar uma imagem 3D em um meio 2D como, no caso, a tela de um computador. Esse processo pode ser comparado ao processo de se tirar uma foto da cena 3D.

O software *Walkinside* é composto basicamente por um arquivo executável, em extensão DDL, responsável pela exportação dos modelos e bancos de dados a partir de diversos softwares de desenho 3D assistido por computador, e de um executável que permite que os modelos exportados para a extensão .VR sejam visualizados em um ambiente de realidade virtual.

O processo de exportação, ou passagem da interface CAD (onde o modelo 3D foi desenhado) para a interface de realidade virtual do *Walkinside*, ocorre da seguinte forma: ainda no ambiente dos softwares de modelamento (Auto CAD, 3DStudioMax, Microstation, etc.), os sólidos e superfícies 3D gerados (cubos, cilindros, esferas, etc.) são automaticamente processados através de algoritmos, de forma a se eliminar feições desnecessárias e otimizar o desempenho da visualização (figuras 28a, b, c e d).

Esta otimização é fundamental, pois, posteriormente (já no ambiente de RV), garantirá o tempo de reação necessário para que o modelo responda às ações do usuário, economizando processamento e garantindo a sensação de imersão e a interatividade da interface. Este tempo de reação também é garantido durante as sessões de realidade virtual no *Walkinside* através do algoritmo *View Frustun Culling*, que identifica o tamanho dos objetos no campo de visão e sua distância relativa ao observador, ocultando os polígonos de objetos que estejam escondidos atrás de objetos mais próximos e evitando renderizar detalhes dos objetos mais distantes. Isto é feito em tempo real e dinamiza a visualização do modelo, pois mantém uma taxa de quadros por segundo compatível com este tipo de visualização.

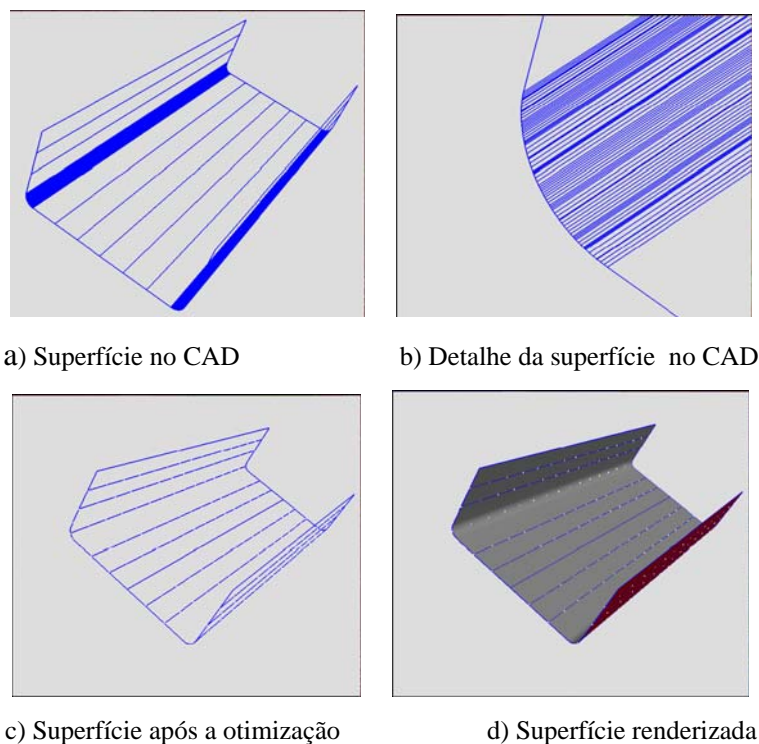


Figura 28: Processo de otimização de superfícies com eliminação de detalhes indesejáveis

Após esta fase, o exportador do *Walkinside* inicia um processo de tecelagem automática do modelo 3D. Tecelagem consiste no preenchimento de um plano com múltiplos planos, de forma a haver nenhuma sobreposição ou espaço vazio entre eles. No âmbito da computação, o tecelamento de uma superfície significa gerar uma rede, geralmente triangular, dividindo uma superfície inteira em diversos micro-planos, que em seu conjunto recompõem esta superfície.

Este processo é conhecido nas geociências como interpolação de superfícies, tem como resultado os Modelos Digitais de Terreno, gerados a partir da tecelagem de isolinhas ou pontos que representam um determinado terreno. Os modelos digitais de terreno podem ser gerados através da tecelagem a partir de triângulos ou quadrados, gerando respectivamente redes irregulares, conhecidas como TINs (*Triangulated Irregular Nets*), e redes regulares.

Em seguida, ocorre um processamento de mapeamento de texturas aplicadas às superfícies, quando são registradas as localizações exatas das texturas e cores aplicadas no ambiente CAD.

As texturas são fotos ou desenhos que revestem as superfícies do sólido como um invólucro, trazendo maior realismo para o modelo. Por exemplo, superfícies que representam um telhado podem ser “envolvidas” com uma foto padrão de telhas, ou a triângulos que representam um terreno podem ser aplicados uma textura de grama, terra e asfalto, ou mesmo uma imagem aérea ou satélite daquele local, ou ainda uma foto tirada da fachada de um edifício pode ser aplicada ao polígono que o representa, consistindo em uma textura foto realística do objeto representado (figura 29).

Na seqüência, o software irá usar um algoritmo de detecção de coalizão e gravidade. Desta forma, posteriormente, o avatar, ou ser humano virtual que estará representando o usuário durante os passeios pelo mundo virtual, não poderá atravessar paredes ou passar por uma porta que é mais baixa ou estreita para a altura e largura definida pelo usuário, a menos que o efeito de colisão seja desativado. Além disso, o personagem estará sempre andando sobre a superfície que representa o chão do mundo virtual, graças a um efeito de emulação de gravidade. Por isso, ele deverá usar escadas para acessar planos mais altos como os andares superiores de um modelo de edifício.





Figura 29: Modelo 3D com texturas aplicadas. Fotos das fachadas das edificações e imagem IKONOS aplicada sobre MDT.

Estes recursos do software são essenciais para se obter uma sensação de imersão no modelo tridimensional e pode ser usado em análises de ergonomia e segurança, como localização de equipamentos numa fábrica ou móveis em uma casa.

### 3.2 Aplicações Imediatas e Possíveis do Modelo de Realidade Virtual em Tempo Real

Nesta sessão serão analisadas as possibilidades de interação com os dados geográficos modelados para visualização em ambiente de realidade virtual, oferecidas pelo software *Walkinside* através dos recursos de navegação imersiva disponíveis.

#### 3.2.1 Integração de dados

Na versão atual do software é possível exportar, de forma direta, modelos gerados em softwares de desenho 3D assistido por computador como: AutoCAD (AutoDesk), *Microstation* (Bentley) versão J, V7 e V8, 3D StudioMax, Maya, *Plant Design System* e

*Plant Design Management System(Intergraph)*, além de diversos softwares de MCAD (*Mechanical Computer Aided Design*) como *Catia*, *SolidWorks*, *UGS* entre outros.

De forma indireta, através do *Microstation*, pois este software é capaz de importar modelos de diversas extensões, é possível exportar arquivos do IGES, *Parasolid*, STEP e ACIS para o *Walkinside*. De forma geral, qualquer programa capaz de exportar para o formato .DXF é passível de ter seus modelos visualizados no ambiente de RV do *Walkinside*.

Além de arquivos vetoriais, o software permite a exportação de nuvens de pontos adquiridos por *Scanner 3D* (figura 30). A técnica de digitalização de feições geográficas, como construções, vegetação e topografia vem se difundindo rapidamente, graças ao progressivo barateamento da tecnologia, a rapidez com que os dados são coletados e o realismo que ela permite na representação dos objetos. Técnicas como o LIDAR, ou varredura a laser, permitem o modelamento 3D em detalhe de extensas áreas, como cidades inteiras. O *Walkinside* permite a inserção de nuvens de pontos 3D em modelos vetoriais possibilitando a integração das duas tecnologias.



Figura 30: Visualização de nuvem de pontos proveniente de scanner 3D no Walkinside

No presente estudo de caso, apesar deste recurso não ter sido utilizado, poderia ter-se empregado esta tecnologia em Catas Altas, como em outras cidades históricas do Brasil, como uma forma de se preservar a memória das edificações tombadas e de seu entorno. Os modelos 3D poderiam, da mesma forma, auxiliar historiadores e restauradores a

reproduzirem com fidelidade as fachadas das edificações. Além disso, o turismo poderia se beneficiar deste recurso para divulgar as atrações turísticas da cidade através da internet.

Esta característica de integração e aceitação de uma multiplicidade de dados de entrada foi essencial para a realização deste trabalho, tendo em vista que foram empregados vários softwares que trabalham com distintos formatos de arquivo, mas que através do formato DXF puderam ter seus produtos visualizados em uma mesma interface.

### 3.2.2 Ambientes virtuais colaborativos

Projetos interdisciplinares como os de engenharia, meio ambiente e planejamento urbano, que demandam a participação de diferentes competências técnicas e que, por sua vez, possuem formas específicas de gerar e lidar com dados, podem encontrar no modelo em realidade virtual de Catas Altas um apoio para tomada de decisões, assim como um meio para se comunicar mais facilmente suas idéias e intenções, fazendo uso da interface comum e intuitiva dos sistemas de realidade virtual. Hardwares de imersão e projeção, como os já citados, podem ser usados para intensificar esta experiência colaborativa (figura 31).



Figura 31: Realidade Virtual sendo usada em ambiente colaborativo

Outra funcionalidade que a realidade virtual oferece é a colaboração on-line. Através de intranet ou internet é possível realizar sessões de realidade virtual com multi-usuários que, apesar de estarem localizados em locais distintos no espaço, podem compartilhar o mesmo modelo virtual e verem mutuamente a representação virtual (avatar) um do outro. É possível também se comunicar e trocar informações e impressões através do teclado do computador (figura 32).

Como uma aplicação deste recurso no Modelo em Realidade Virtual de Catas Altas, poder-se-ia imaginar reuniões em tempo real dentre integrantes de diferentes equipes de um projeto atuante na região, utilizando a representação virtual da área de estudo como interface gráfica e meio de comunicação. Tal recurso poderia servir para a definição de prioridades e comunicação de idéias, sem a necessidade de se sair do escritório. Seus participantes poderiam até mesmo estar localizados em cidades e países diferentes. Para tanto, basta que todos tenham o mesmo modelo 3D, que pode ser enviado através de FTP a todos os interessados.



Figura 32: Sessão com multi-usuários no Walkinside em Catas Altas

Uma equipe de engenharia, por exemplo, poderia inserir no modelo uma proposta de intervenção na paisagem e enviá-lo para uma equipe de meio ambiente operar a análise do

impacto ambiental e a viabilidade da área escolhida para implantação. Isto dinamizaria em muito o processo de tomada de decisões, diminuindo assim a duração dos projetos, evitando-se gastos desnecessários com ruídos de comunicação de intenções, comuns em grandes projetos que demandam altos níveis de interdisciplinaridade.

### 3.2.3 Conexão a Banco de Dados: Desktop GIS 4D

Outra funcionalidade importante, principalmente quando neste trabalho se pretende investigar as possibilidades de integração da RV com o geoprocessamento, são os recursos de banco de dados e *hiperlink* que este software de RV oferece. Os atributos referentes aos objetos gráficos podem ser organizados em bancos de dados e conectados aos objetos do modelo através de SQL e ODBC. Os atributos referentes às representações gráficas são posteriormente exportados juntamente com os modelos 3D para o ambiente de RV.

A conexão entre o objeto 3D e seu atributo se mantém após a exportação do modelo do software CAD para o *Walkinside*, o que significa que pode-se realizar busca por informações nos bancos de dados e levar automaticamente o avatar até o objeto repositório do dado inquirido. Da mesma forma, é possível clicar em qualquer objeto do modelo e se recuperar as informações contidas no banco de dados acerca dele (figura 33).



Figura 33: Mecanismo de consulta a banco de dados do *Walkinside*.

Infelizmente não foi possível fazer uso deste recurso neste trabalho devido a limitações de tempo. Entretanto, após o modelo pronto, o usuário final pode gerar tabelas em softwares como o *Access* e *Excel*, e conectá-las com os objetos do modelo.

A título de exemplo, poderíamos citar o uso deste recurso por parte de prefeituras para o desenvolvimento de um sistema de banco de dados 3D, para armazenar dados sobre cadastro imobiliário, IPTU, informações sócio-econômicas sobre as famílias que habitam aquelas casas ou tipo de comércio realizado nos estabelecimentos. Estas informações podem ser publicadas com o modelo na internet, ou distribuídas em CD-ROM, para que a população possa tomar parte nos processos decisórios e compreendam melhor o espaço que habitam, sem precisar de conhecimento específico em computação, dada a facilidade de navegação oferecida pelas interfaces de RV.

Com estes recursos, os modelos deixam de ser compostos apenas por representações gráficas virtuais de objetos reais, que intrinsecamente informam sua localização no espaço, altura, forma e textura, mas também podem armazenar quaisquer tipos de informações sobre estes objetos, aproximando-se muito de um sistema *Desktop GIS*. Apesar de não permitirem análises espaciais mais complexas, estes recursos possibilitam a recuperação de dados geográficos em tabelas a partir de sua representação gráfica e vice versa.

### **3.2.4 Conexões Externas com outros Softwares e Endereços na WEB (*hiperlinks*)**

É possível também atribuir *hiperlinks* aos objetos que, quando clicados, levam o usuário a um URL (endereço eletrônico) especificado, podendo-se assim conectar este objeto a informações externas como, por exemplo, um arquivo de texto, de imagem, de som ou mesmo um endereço eletrônico na internet (figura 34).

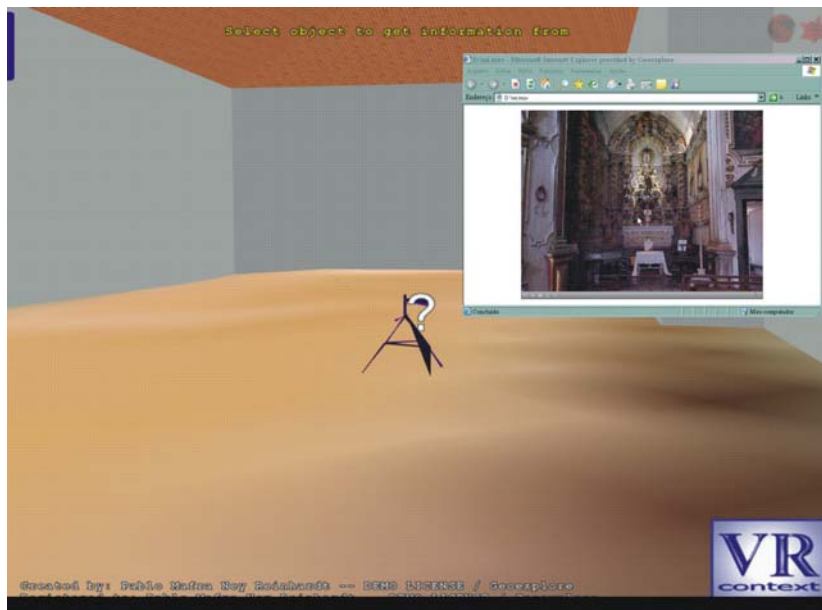


Figura 34: Visão do interior da igreja matriz de Catas Altas. *Hiperlink* com navegação em *browser Quicktime* gerada no software *VRWorks*.

### 3.2.5 Controle de Camadas de Informação

Outro recurso do *Walkinside* que pode ser usado no sentido de sua aplicação em trabalhos de SIG é sua capacidade de “ligar e desligar” camadas que compõem o modelo 3D. O software reconhece os níveis (*levels*) em que cada objeto foi desenhado no *Microstation*, *AutoCAD*, etc. permitindo que o usuário manipule estes níveis, “escondendo e mostrando” partes do modelo. Este recurso imita a estrutura dos Sistemas de Informação Geográfica, onde camadas de informações georreferenciadas são sobrepostas ou não umas às outras, como por exemplo, a estrutura de *shapefiles* do software *ArcView* (figura 35).

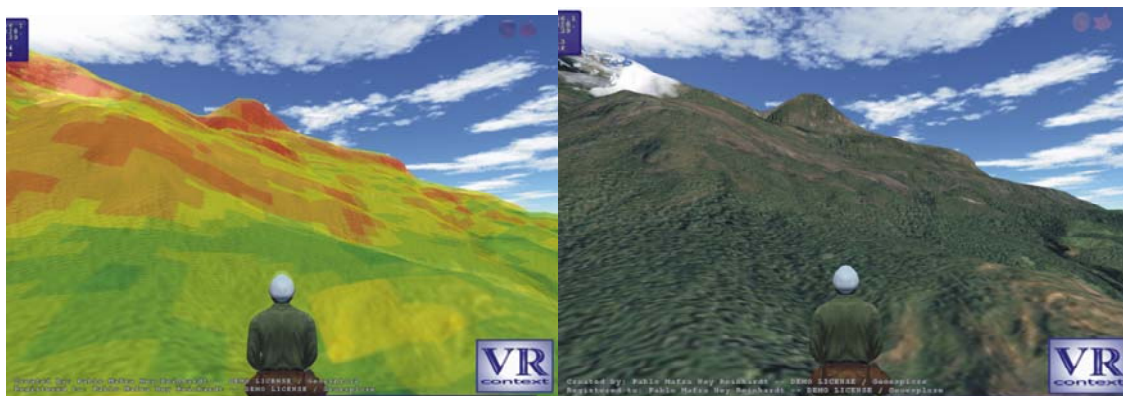


Figura 35: Sobreposição de camadas de informação ao MDT. À esquerda: mapa de declividade e à direita imagem satélite, ambos da região de Catas Altas. Controle de camadas sobrepostas.

É possível, por exemplo, alternar camadas de informações de texturas como uma imagem satélite sobreposta a um MDT, desligar esta informação e mostrar um *raster* de declividade ou um mapa topográfico, capturado por *scanner*, sobrepostos à superfície deste modelo. A possibilidade de se ajustar o nível de transparência\opacidade das texturas no *Microstation* viabiliza a visualização simultânea de várias camadas de informações.

### 3.2.6 Animações e Simulações de Intervenções na Paisagem

O software oferece também um editor de simulações, com o qual fogo, fumaça, explosões, multidões, som estéreo 3D e animação de objetos podem ser simulados, com parâmetros definidos pelo usuário, e sem a necessidade de geração de *scripts*. Isto contribui para aumentar a sensação de imersão durante os passeios virtuais, aumenta o realismo do modelo quando lhe atribui mais dinamismo (figura 36). Além disso, esse editor permite o treinamento de segurança de pessoas, no caso de modelos de plantas industriais, e definição de rotas de evacuação e localização de aparatos de segurança.

No caso da modelagem virtual de Catas Altas, o modelo poderia ser usado, por exemplo, para simulação de propagação de incêndios nas coberturas vegetais próximas à cidade com fins de monitoramento, prevenção e educação ambiental. Ou ainda para se simular o impacto visual de uma nova cava de mina ou empreendimentos de arquitetura e engenharia para a definição de suscetibilidade e validação de empreendimentos (figura 37).

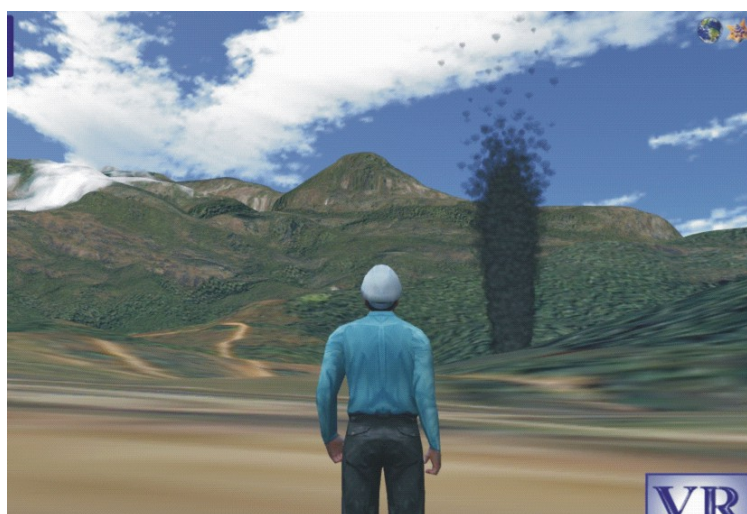


Figura 36: Simulação de incêndio florestal na região de Catas Altas.



Simulações mais complexas, como simulações de comportamento de fluidos ou a visualização, com parâmetros controlados (pressão, densidade, viscosidade, etc.), da propagação de fumaça, fogo ou gás em relação a um modelo podem ser geradas, porém há a necessidade de utilização de linguagem de programação e um kit de desenvolvimento do programa.

Com estes recursos avançados, o raio de atuação das simulações aumentaria em muito, podendo-se pensar em animações não só de caráter visual, mas também analítico científico como: monitoramento de incêndios florestais, simulações de propagação de som para se prever o impacto sonoro das detonações de uma mina sobre a cidade, simulação de dispersão de poeira e fumaça decorrentes destas detonações seguindo-se parâmetros de direção dos ventos na região no sentido de minimizar o impacto sobre a cidade, dentre outras.

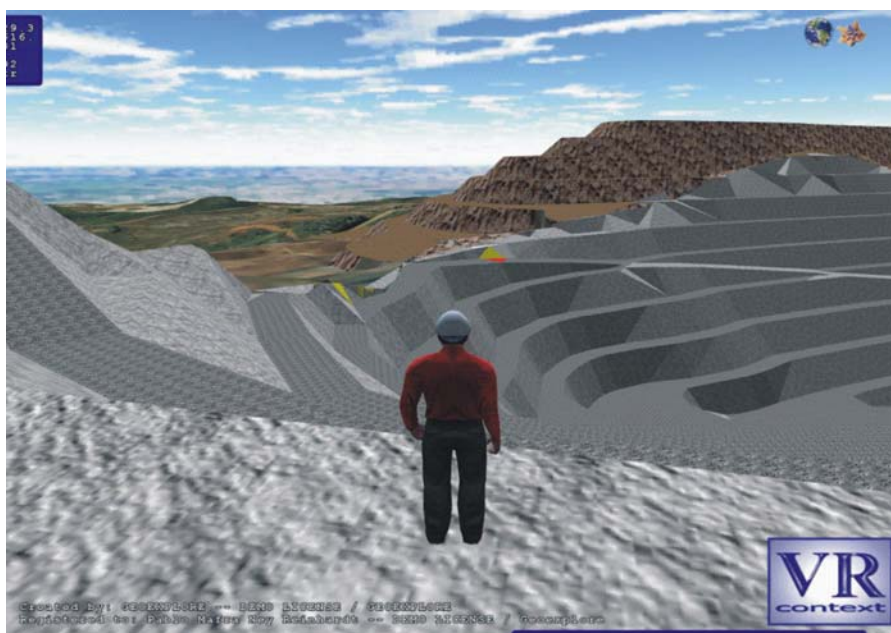


Figura 37: Simulação de empreendimento de mineração na região de Catas Altas.

### 3.2.7 Visualização Estereoscópica

É possível visualizar o modelo em profundidade através da técnica de estereoscopia e uso de óculos 3D . Para isso, basta ter uma placa de vídeo com um recurso especial. O software

gera um efeito de estereoscopia ativa, com a duplicação da cena e deslocamento de uma em relação à outra. Este deslocamento deve ser proporcional à distância entre os olhos do observador e pode ser controlada a partir de um *menu* de configuração, que configura também outros parâmetros importantes para a estereoscopia e projeção dos modelos em ambiente estéreo 3D.

A profundidade do campo de visão (*Field of View*) pode ser ajustada de forma semelhante ao ajuste das lentes de uma câmera fotográfica. O usuário final pode optar por um FOV de 35 mm (campo de visão próximo ao olho humano) ou outros, como 70 mm (lente olho de peixe), por exemplo. Desta forma, o modelo em realidade virtual de Catas Altas poderia ser apresentado para um grande público em projetores estereoscópicos ou ser instalado em quiosques públicos, onde as pessoas podem fazer navegações pelo modelo com o uso de óculos 3D. Outra possibilidade é que ele seja usado em audiências públicas para apresentação de projetos de relevância para a população da cidade como, por exemplo, a instalação de uma nova mina na região.

Este recurso pode ser usado, como o foi neste trabalho, para a aferição e refinamento de análises de visibilidade para suporte de decisão na alocação de novos empreendimentos na região.

### **3.2.8 Navegação 3D apoiada com visualização 2D e rastreamento do usuário**

A possibilidade de se visualizar uma representação em 2D do mundo virtual em que se está navegando permite que o usuário do modelo de RV mantenha uma noção de localização no seu contexto global. Os recursos de se registrar as coordenadas de determinados locais e de se deslocar instantaneamente para estes locais, também oferecem um suporte à navegação, viabilizando o registro de pontos importantes ou referenciais do modelo, como fazemos mentalmente para nos localizarmos no espaço físico (figura 38).



Figura 38: Navegação em 3D com e localização do usuário no contexto global do modelo em 2D no canto inferior esquerdo da tela

A janela de visualização 2D também pode ser usada para se visualizar outros tipos de informações como, por exemplo, mapas de declividade ou campo de visibilidade no sentido de se enriquecer os passeios virtuais pelos modelos com visualizações científicas. O rastreamento automático do usuário na representação 2D permite ao usuário chegar em regiões de interesse.

### 3.2.9 Definição do valor paisagístico de empreendimentos

A vista panorâmica que se tem a partir de um determinado empreendimento como um novo hotel, pousada ou edifício, influencia muito o valor e a atração que este exerce sobre o público em potencial.

No caso específico de Catas Altas, a visão da Serra do Caraça é um grande atrativo para os visitantes e moradores da cidade, enquanto que a presença das diversas mineradoras na região se traduz em repulsão por parte destes.

O Modelo em Realidade Virtual de Catas Altas pode oferecer, neste sentido, um suporte necessário para que, tanto arquitetos, engenheiros e investidores, quanto os hóspedes,

tenham a noção exata da vista que se terá da área recreativa de um hotel (figura 39) ou da varanda de uma pousada.



Figura 39: Vista da Serra do Caraça a partir do pátio interno da pousada

### 3.2.10 Outras Aplicações:

Além disso, o Modelo em Realidade Virtual de Catas Altas oferece outras aplicações. Dentre elas:

- Gravação automática de vídeos durante os passeios virtuais pelo modelo para apresentações para diversos fins como apresentação de empreendimentos em audiências públicas, para investidores ou, ainda, com fins de promoção turística da cidade.
- Medições 3D (altura e largura) para revisão de projetos paisagísticos, de arquitetura ou engenharia.
- Definição de rotas de trilhas para estímulo do eco-turismo na região.

- Visualização virtual de lugares de difícil acesso, como as regiões elevadas do topo da Serra do Caraça (figura 40).



Figura 40: Visão a partir do topo da Serra do Caraça com a cidade de Catas Altas no terceiro plano.

- Definição de lugares ótimos para implantação de torres de comunicação e aferição de resultados de análise de visibilidade mútua de antenas repetidoras e cobertura de antenas de comunicação celular.

### 3.3 Apresentação do produto final

Neste capítulo o produto final será apresentado através de perspectivas tiradas durante navegação interativa em tempo real pelo Modelo em Realidade Virtual de Catas Altas. Pretender-se-á mostrar uma visão geral dos principais pontos do modelo.



Figura 41: Vista Geral do Modelo em Realidade Virtual de Catas Altas

### 3.3.1 Passeio Virtual por Catas Altas:

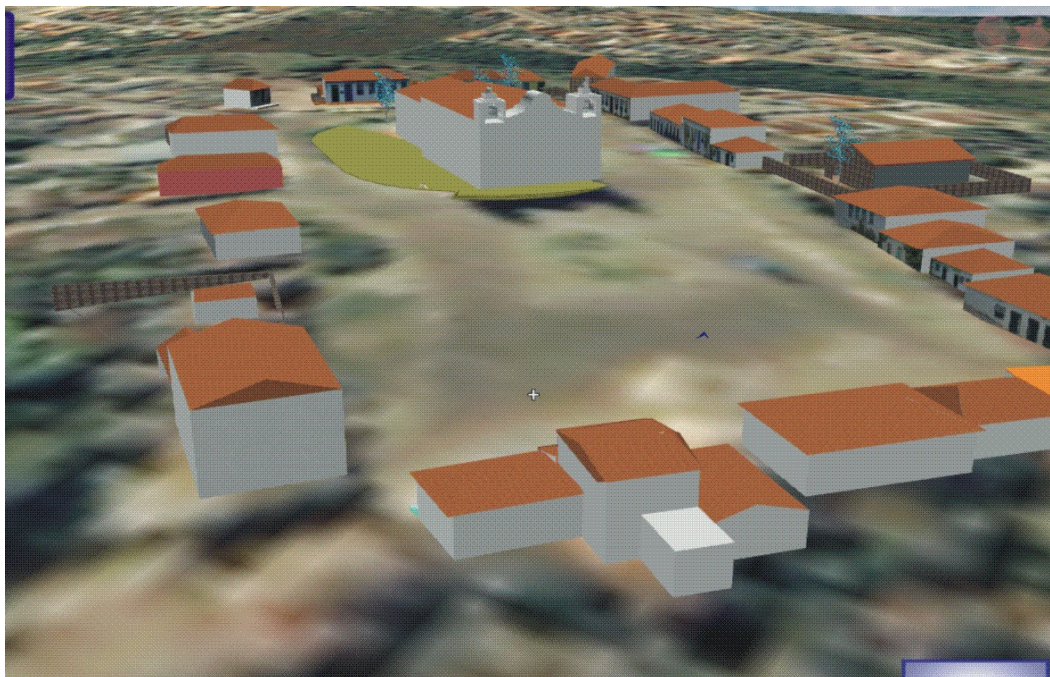


Figura 42: Vista frontal da praça central de Catas Altas

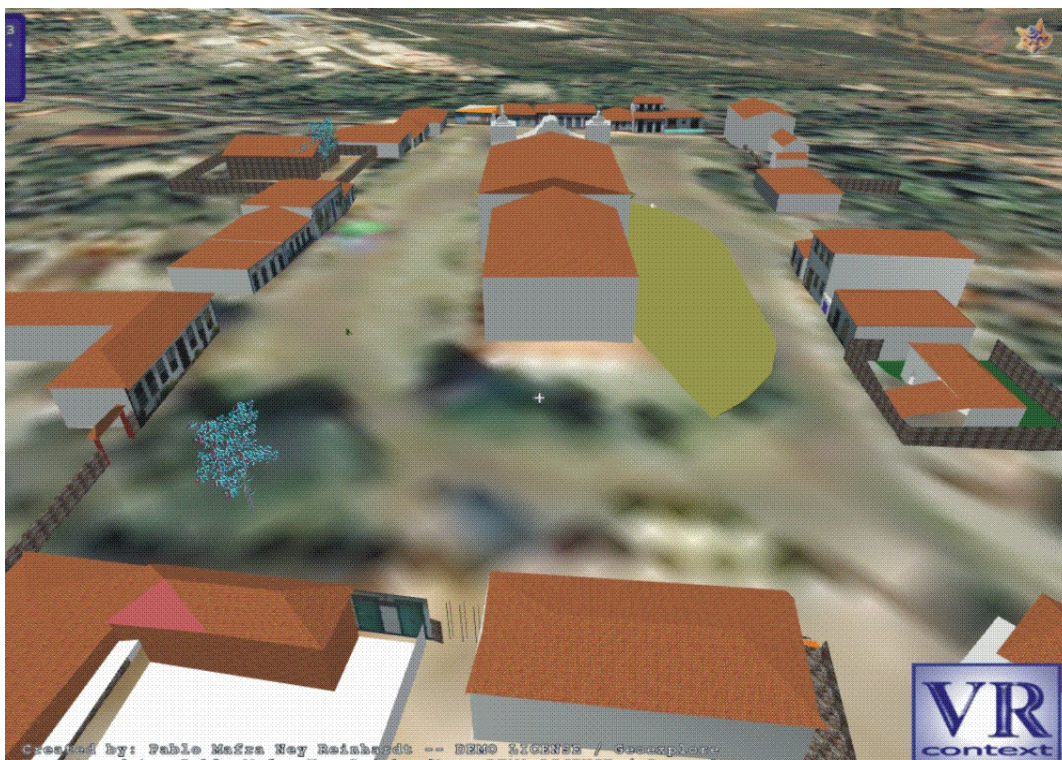


Figura 43: Vista posterior da praça central de Catas Altas



Figura 44: Detalhes de texturas fotorealísticas das fachadas das casas da praça central de Catas Altas com Serra do Caraça ao fundo



Figura 45: Câmara Municipal de Catas Altas

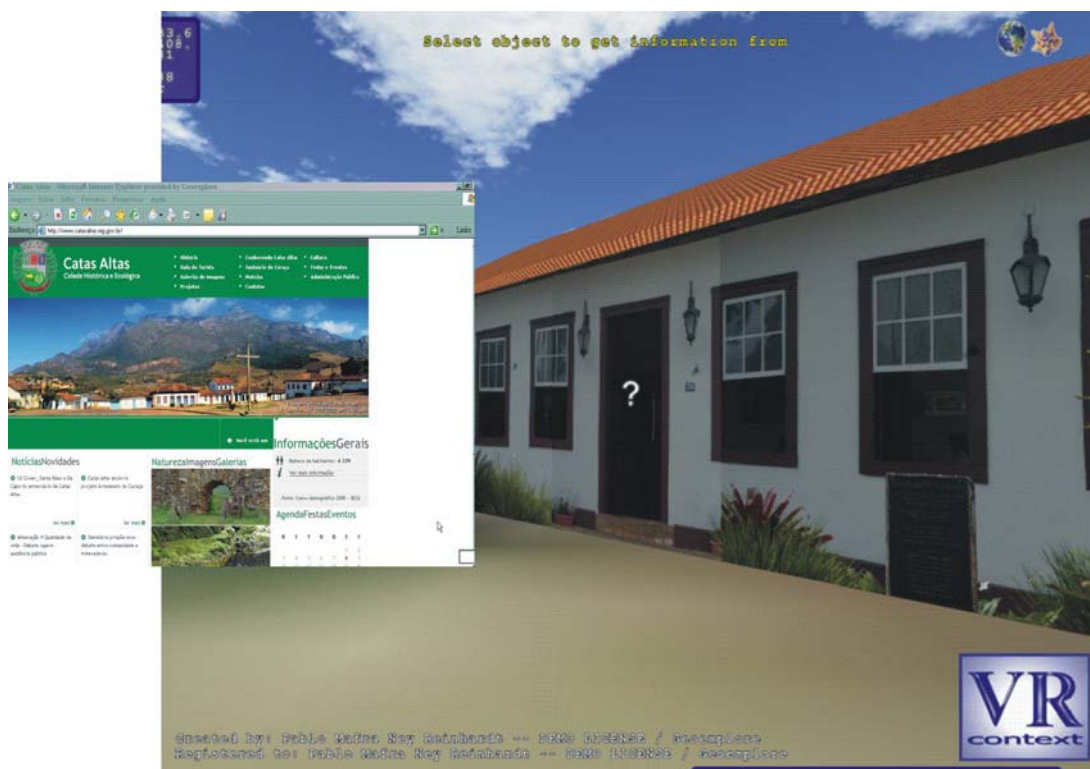


Figura 46: Prefeitura de Catas Altas com *hiperlink* para a homepage na Internet





Figura 47: Integração Walkinside e VRWorks através de *hyperlink* (objeto azul): Casario da praça central de Catas Altas com Serra do Caraça ao fundo

### 3.3.2 Passeio Virtual pela Serra do Caraça

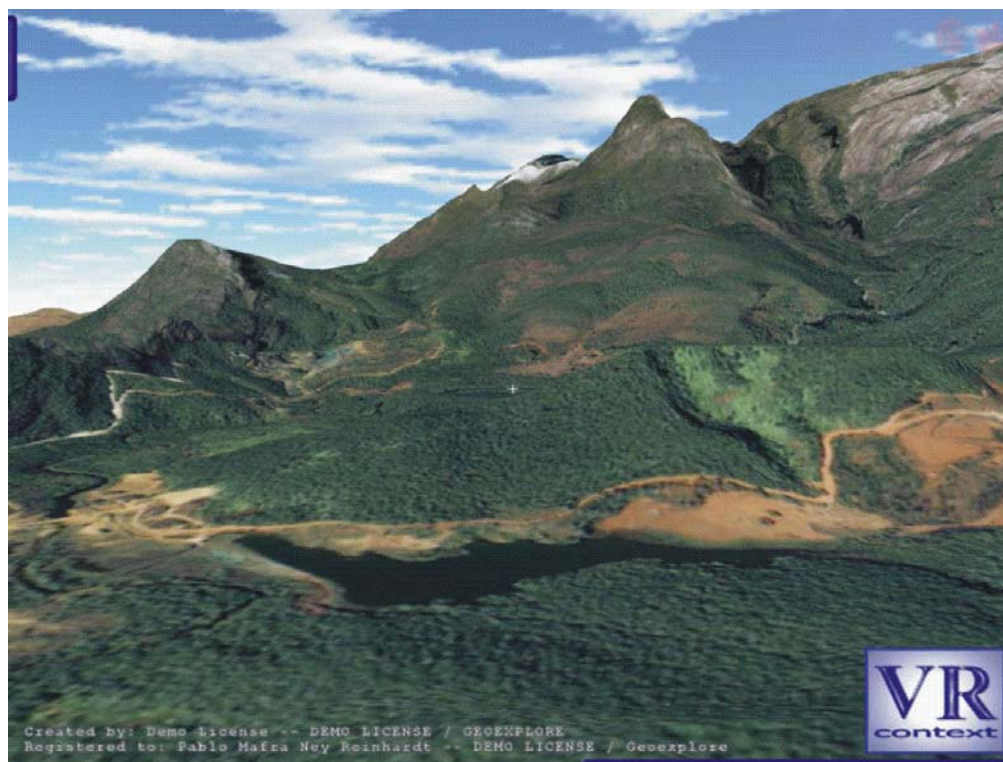


Figura 48: Vista Norte-Sul da Serra do Caraça

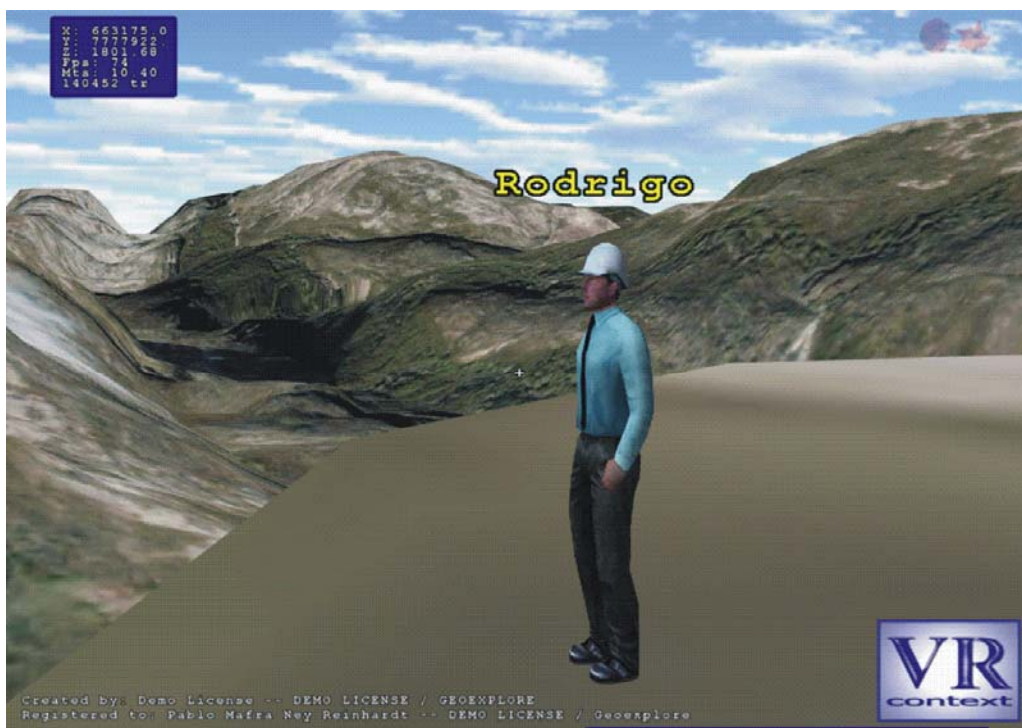


Figura 49: Passeio virtual pela cume da Serra do Caraça em ambiente multi-usuário

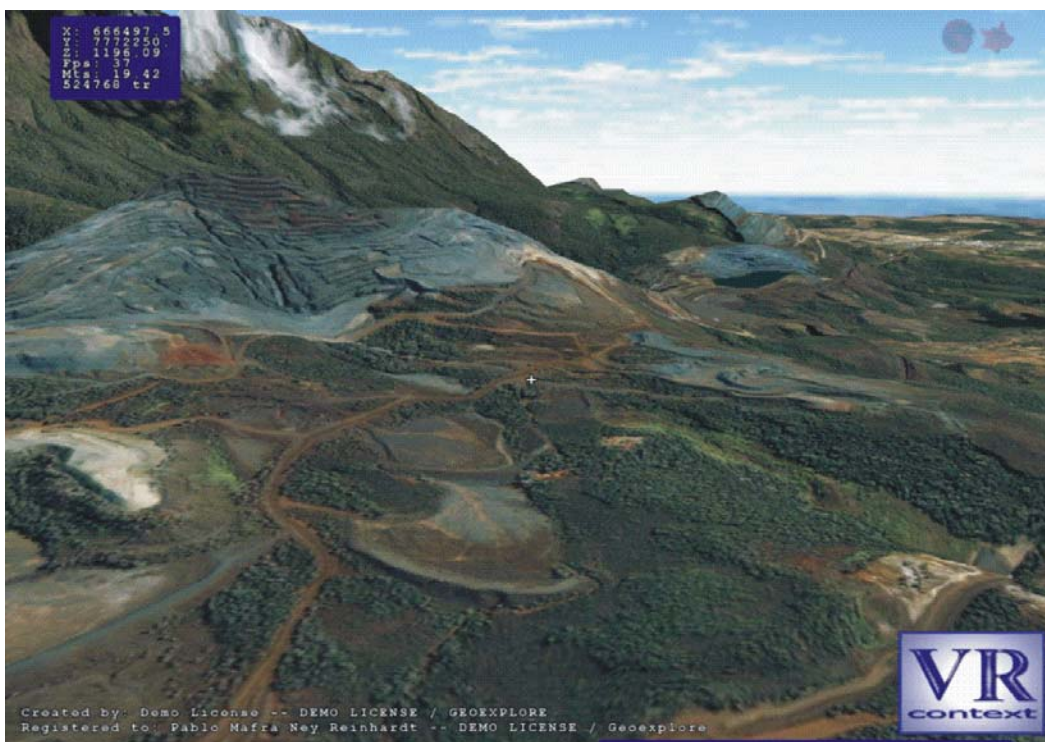


Figura 50: Seqüência de minas presentes na região



Figura 51: Visão leste-oeste da Serra do Caraça

### 3.3.3 Escolha de melhor local para pousada com suporte de análise espacial



Figura 52: Pousada no local escolhido



Figura 53: Vista do pátio interno da pousada

### 3.3.2 Simulação de Cava de Mina e Pilha de Estéril

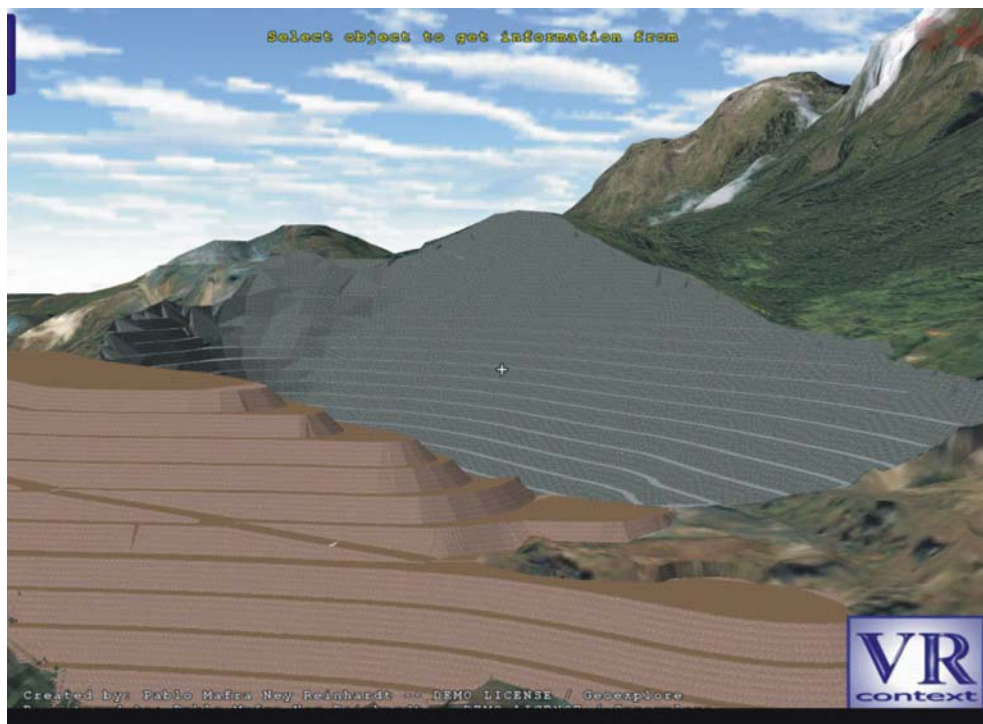


Figura 54: Mina virtual na região de Catas Altas

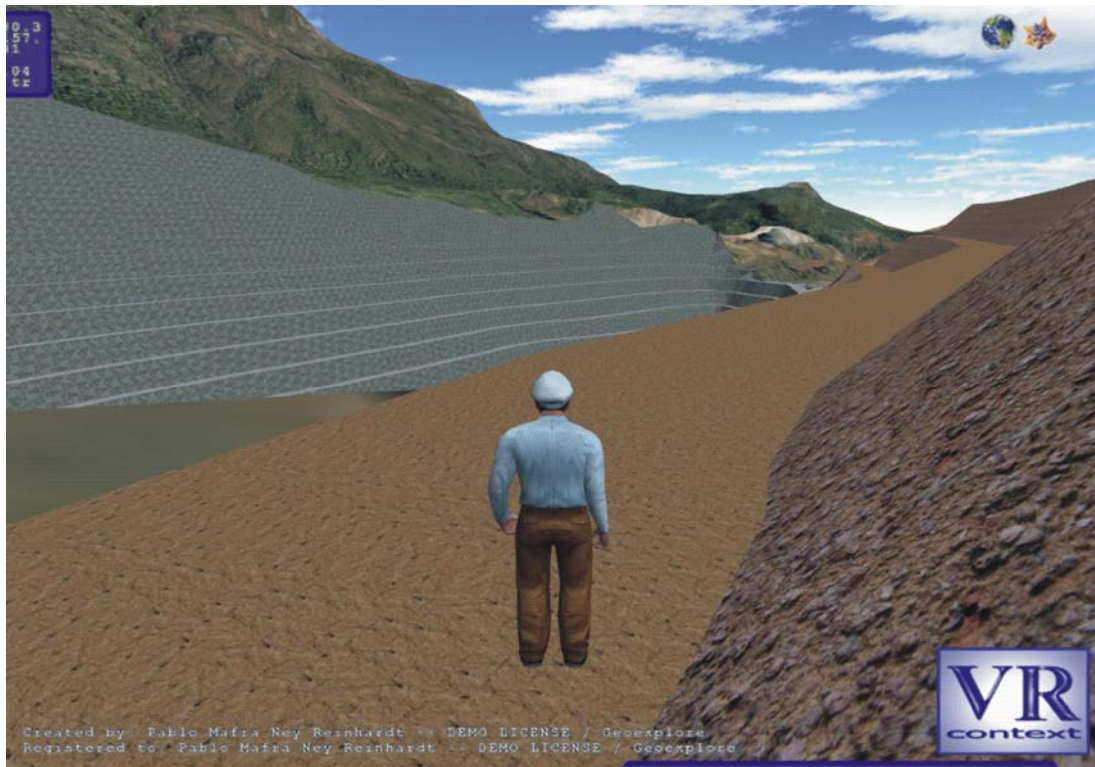


Figura 55: Visão de cava de mina virtual a partir de pilha de estéril fictícia

## CAPÍTULO 4: Conclusão e considerações finais

Este trabalho tentou mostrar através de revisões bibliográficas e um estudo de caso o potencial que a integração de recursos de dois campos de estudos distintos, porém próximos em seus objetivos, podem oferecer para ambos.

O modelamento em Realidade Virtual de Catas Altas gerou um produto acessível em termos operacionais e uma interface gráfica de manipulação de dados geográficos que não necessita de treinamento e conhecimentos técnicos para seu uso. Este fato abre espaço para a popularização da visualização de dados geográficos para uma grade público leigo em cartografia, apesar de esbarrar ainda nos altos custos dos aplicativos em RV<sup>4</sup>.

O alto nível de interatividade e imersão (ainda que neste modelo tenham sido empregados usado apenas recursos *desktop*) alcançadas nesta integração de tecnologias, expande a capacidade de visualização dos Sistemas de Informação Geográficas, representando um progresso significativo em relação à visualização 3D em direção ao chamado 4D, quando agrega a este o fator renderização em tempo real e abre possibilidade para o uso dos modelos como cenários para desenvolvimento de simulações. Do outro lado, a realidade virtual ganha quando pode sair do âmbito restrito do entretenimento no modelamento de mundos virtuais fictícios, ganhando status de suporte em visualizações científicas e geográficas.

Neste trabalho vimos que é possível integrar muitos dos recursos presentes em sistemas de geoprocessamento, como o uso de dados georeferenciados, disposição de informações em camadas (com controle da opacidade das mesmas), modelos digitais de terreno, sobreposição de imagens satélites a MDT, interpretação de imagens satélite, integração de diferentes *inputs*, e até mesmo aferição de análises de visibilidade em estudos de suscetibilidade.

---

<sup>4</sup> Apesar disto, é importante notar a existência de aplicativos gratuitos como as linguagens VRML e 3DX, que permitem a visualização de modelos em RV em browsers na Web. Ainda assim existe o empecilho da necessidade de bandas largas para a transmissão de dados 3D na Web, que se encontra em um processo de queda crescente de preço.

Neste caso, foi possível até mesmo o refinamento da análise através da RV, quando o modelo de análise puramente matemático da ferramenta do *ArcView* foi enriquecido com a possibilidade de se colocar no lugar de um ser humano virtual em Catas Altas e ver através de uma perspectiva imersiva o que seu campo de visão abarcaria.

O local escolhido obedeceu a critérios qualitativos, como o valor de panorâmica que ele possui e porque, apesar da análise no *ArcView* indicar grande visibilidade da frente de mineração, isto era uma falsa informação, decorrente da desconsideração da distância do observador em relação ao objeto observado. Parâmetro este intrinsecamente presente na navegação do modelo no software *Walkinside*.

Além disso, a impressão de se estar imerso no modelo virtual, abre espaço para outras faculdades cognitivas que não são consideradas comumente nas análises espacial do GIS por serem parâmetros mais qualitativos e estéticos do que propriamente quantitativos.

A integração de dois softwares de RV com diferentes abordagens, o *Walkinside* (RV vetorial) e *VRWorks* (RV matricial), também mostrou-se profícua para ambas as tecnologias. A navegação em 360° do mosaico de fotos panorâmicas ligada ao modelo de RV através de *hiperlinks* inseridos nos pontos aproximados onde as fotos foram tiradas, enriqueceu em muito o modelo vetorial e serviu para validar sua acuidade e precisão.

Apesar destes benefícios que a RV vem agregando ao GIS, acreditamos, com o perdão do trocadilho, que o chamado RVGIS ainda é uma virtual realidade, no sentido em que ele ainda não alcançou os parâmetros necessários para ganhar o status de um Sistema de Informações Geográficas, chegando, ao máximo, bem próximo de um DesktopGIS, devido à possibilidade de conexão a bancos de dados, que apesar de não terem sido utilizados no presente trabalho, os caminhos para estudos futuros no aproveitamento desta ferramenta estão em aberto.

Um sistema GIS, para ser assim considerado, deve possuir ferramentas que possibilitem a geração de novas informações a partir de informações preexistentes, como o software *ArcView* o faz. Neste estudo de caso, as informações foram geradas em um software GIS e apresentadas em um software de RV, mas não se gerou realmente novas informações

gráficas a partir do ambiente RV, apesar deste ter fornecido análises visuais intuitivas importantes, que permitiram a geração de novos *insights* sobre a região em estudo.

No que toca o software utilizado neste trabalho, o *Walkinside*, muitas melhorias devem ser feitas para que seja usado mais eficientemente em integração ao geoprocessamento, tendo em vista que ele não foi desenvolvido voltado para esta área específica, mas sim para o mercado de engenharia, energia e defesa nacional. A seguir citam-se alguns problemas encontrados no decorrer do estudo de caso e algumas propostas de desenvolvimento:

- **Sistemas de projeção:**

Problemas: O *Walkinside* trabalha originalmente com dados de entrada provenientes de CAD e nuvens de pontos 3D, e por isso não entende sistemas de projeção geográficos, ficando restrito ao plano puramente cartesiano dos CADs. Ainda assim, ele possibilita o georeferenciamento a partir de coordenadas UTM, apesar de não entender detalhes como fusos. Além disso, notou-se que o software apresenta problemas para lidar com dados georeferenciados, havendo deformações do volume quando se afasta muito da origem 0, 0, 0, que representa o centro do cubo cartesiano dentro do qual o modelo é renderizado.

Solução proposta: É necessário que o software sofra melhorias no sentido de se incluir a possibilidade de projeções UTM com fusos e geográficas em graus decimais. Para se evitar deformações, o usuário deve ter o poder de definir uma origem para o cubo envolvente e localizá-lo no centro geográfico de seu modelo.

- **Exportadores:**

Problemas: Os dados, para saírem do *ArcView* e migrarem para o formato DGN do *Microstation*, software que converte os modelos para RV, antes devem ser convertidos na extensão DXF, que preserva a geometria dos dados, mas perde os atributos das tabelas conectadas a ele. Além disso, as TINs (Rede Irregular de Triângulos) geradas no *ArcView* não são suportadas pelo *Microstation*, sendo necessária a interpolação no próprio MS, que não usa o método Delaunay de interpolação que gera melhores resultados.

- Solução proposta:



Novos exportadores devem ser desenvolvidos para softwares de GIS, para converter arquivos na extensão *Shapefile* do *ArcView* ou na extensão do *MapInfo*. Os dados devem ser exportados juntamente com seus atributos de tabela, como já ocorre com os softwares PDS, PDMS e *Microstation*. O exportador deve também ser capaz de exportar as TINs geradas nos softwares de geoprocessamento e interpretar imagens sobrepostas ao MDT como texturas, levando-as para o *Walkinside*.

- **Controle de camadas:**

Problemas: O controle de *layers* no *Walkinside* pode ser considerado precário, pois os nomes dos layers não ficam visíveis, apenas parecendo os seus números, o que dificulta a identificação das camadas.

Solução Proposta: É necessário o desenvolvimento de uma interface dirigida ao usuário (GUI) que mostre as camadas com seus respectivos nomes, de forma que o usuário possa ligar e desligar os *layers* de forma rápida.

- **Simulações:**

Problemas: No editor de simulações do *Walkinside* já existe um campo para definição das condições e parâmetros das simulações criadas, como, por exemplo, velocidade e direção dos ventos ou temperatura dos fluidos. Porém, ele ainda não está disponível para o uso. Além disso, é possível definir o nível de superfície da água, porém, não se respeita as leis da dinâmica de fluidos como a dos vasos comunicantes, o resultado é que quando se procura preencher uma represa por exemplo, todo o modelo que estiver abaixo do nível definido é inundado.

Soluções Propostas: Desenvolvimento de algoritmos que permita ao usuário interagir com as simulações e desenvolver simulações com fluidos.

- **Análises espaciais:**

Problemas: Ainda não existem ferramentas que permitam desenvolver análises espaciais no banco de dados e se gerar novas informações a partir do modelo.

Soluções Propostas: Desenvolvimento de ferramentas de busca em bancos de dados por atributo e seleção de múltiplos atributos com visualização das feições selecionadas no modelo. Poder-se-ia adicionar ferramentas de análise de superfícies, como a geração de mapas de sombra, de rasters de visibilidade e declividade ou de cálculo de volume ao programa, de forma que as análises sejam feitas durante as sessões de realidade virtual. Outro desenvolvimento importante seria a medição de distâncias levando-se em conta os acidentes de relevo. Atualmente, as distâncias são medidas de forma euclidiana, através de uma linha reta.

• **Modelo Digital de Terreno<sup>5</sup>:**

Problemas: Há a necessidade de se utilizar diferentes fontes de entrada na confecção dos modelos digitais de terreno, no sentido de detalhar áreas mais importantes e de se generalizar áreas de menor interesse, para que, com isso, se consiga melhor performance na visualização em RV em termos de quadros por segundo (isso se tratando de grandes modelos). Porém, muitas vezes o resultado da interpolação entre curvas de nível de densidades diferentes é problemático, resultando em deformações no modelo (Figuras 57 e 58).

Solução Proposta: Desenvolvimento ou utilização de interpoladores que possam fazer uma média das alturas nos pontos de contato entre as malhas, no sentido de atenuar as diferenças entre elas.

---

<sup>5</sup> No caso mais relacionado com utilitário CAD do que com o software de Realidade Virtual.

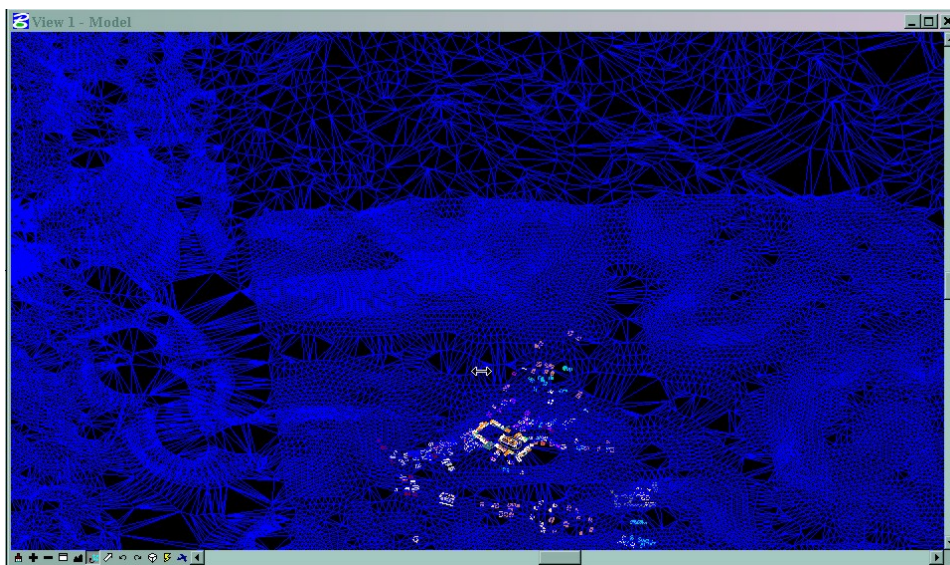


Figura 57: Interpolação de dados topográficos de diferentes densidades.



Figura 58: Resultado da interpolação de dados topográficos de diferentes densidades no *Walkinside*.

- **Aplicação de texturas:**

Problemas: Os métodos de aplicação de texturas do software *Microstation* não comportam a complexidade das texturas dos elementos da natureza. No presente estudo de caso, as

texturas aplicadas na cava da mina virtual e na pilha de rejeito deixaram a desejar no requisito estético, justamente por essa limitação dos softwares CAD, de serem voltados para desenhos de arquitetura e engenharia, onde os padrões se repetem de forma regular.

Soluções Propostas: Desenvolvimento de métodos de aplicação de texturas que se baseiem em padrões caóticos, mais próximos dos objetos naturais, e não geométricos como os padrões dos objetos de origem antrópica.

Tendo sido feitas as devidas ressalvas, concluímos que este estudo de caso possibilitou mostrar as vantagens que se pode obter com a integração entre o GIS e a RV. Pretendeu-se suscitar discussões referentes às possibilidades e os desafios que devem ser vencidos para que seja implementada de forma efetiva e traga ganhos para ambos os campos da ciência.

Ressalta-se que o desenvolvimento do chamado VRGIS deve ser feito de forma interdisciplinar, em conjunto com os saberes da informática/computação gráfica e da geografia/cartografia/geoprocessamento. A pouca experiência do autor na área de modelagem 3D foram os principais fatores de limitação deste trabalho, devido justamente a este caráter interdisciplinar. Recomenda-se que trabalhos futuros sejam desenvolvidos com uma equipe formada por geógrafos e designers gráficos no sentido de se obter um resultado estético mais aprimorado.

A modelagem 3D da vegetação constitui um fator negligenciado neste trabalho, pela ausência do tempo necessário e da técnica para fazê-lo. A modelagem da cobertura vegetal é essencial em análises de visibilidade e percepção do meio ambiente, além de acrescentar um grande realismo ao modelo e, por isso, deve ser considerada em trabalhos futuros.

Ainda há carência na área de estudos sobre ambientes virtuais colaborativos através de Web e intranet e entendemos que os geógrafos devem estar à frente deste processo, podendo trazer boas contribuições neste sentido. A internet deve ser o espaço onde a pretendida integração entre a Realidade Virtual e o Geoprocessamento deve ser estabelecida. Tendo em vista o potencial de participação popular que a Web oferece, e o progressivo barateamento das tecnologias de informação e visualização de dados, podemos vislumbrar um futuro onde todos, *experts* ou leigos, possam participar de forma atuante na

construção social do espaço geográfico. O caminho é longo, mas está sendo traçado à velocidade dos *terabytes* que circulam hoje pelas teias invisíveis do espaço cibernético.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BREWER, I.; et al. “Collaborative Geographic Visualization: Enabling shared understanding of environmental processes”.  
<http://hero.geog.psu.edu/products/IBAMivis.pdf>
- BUCKLEY, A; et al. “Geographic Visualization as an Emerging Research Theme in GIS Science”. 2000.
- CAMPO, J. A. P. “A data model for exploration of temporal virtual reality geographic information system”. , 2004
- ÇÖLTEKIN, A. “Virtual Reality as an Interface to GIS”. In. 21st Int. Cartographic Conference Proceedings. Helsinki, 2003.
- DODGE, M. & KITICHIN, R. Mapping Cyberspace. New York: Routledge, 2001.
- DODGE, M; DOYLE, S; SMITH, A. “Towards the Virtual City:VR & Internet GIS for Urban Planning” London: 1998.
- DODGE; M., DOYLE, S; SMITH, A.; FLEETWOOD, S.. “Virtual Reality and Geographical Information Systems,” Birkbeck College, 22nd May 1998.
- FOSSE, J; VEIGA, L. “Realidade Virtual como uma Ferramenta na Cartografia 3D”. In. Anais do III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, 2003.
- GARDNER, J. V., TIMOTHY, W., NELLIS, D.; BRANDTBERG, T. “Virtual Reality Technology for Data Analysis”. Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng., Volume5097, 2003.
- GATTAS, M.. Apresentação powerpoint. P&D: Aplicações Distribuídas por Departamento de Informática PUC-Rio,
- GIBSON, W. Neuromancer. New York: AceBooks. 1984.
- JACOBSON, L. Realidade virtual em casa. Rio de Janeiro: Berkeley, 1994.
- KIRNER, C. Sistemas de Realidade Virtual. Site do Grupo de Pesquisa em Realidade Virtual Departamento de Computação Universidade Federal de São Carlos – UFSCar  
<http://www.dc.ufscar.br/~grv/tutrv/tutrv.htm>
- KIRNER, C.; TORI, R. “Introdução à Realidade Virtual, Realidade Misturada e Hiper-realidade”. In. KIRNER, C; TORI, R. (Ed.). Realidade Virtual: Conceitos, Tecnologia e Tendências. São Paulo: Editora Mania de Livro, 2004.
- LÉVY, P. Cibercultura. São Paulo: Ed.34, 1999.
- LIN, H; HUANG, B. “GeoVR: a web-based tool for virtual reality presentation from 2D GIS data”. Computers & Geosciences, v.25 n.10, p.1167-1175, 1999.

MACHADO, L. Conceitos básicos de Realidade Virtual. São José dos Campos: INPE, 1995.

MacEACHREN, M.; et al. “Virtual environments for geographic visualization: potential and challenges”.  
<http://www.geovista.psu.edu/publications/NPIVM99/amnNPIVM.pdf>

MICHAELL, W. J. E-topia, São Paulo: Ed. SENAC, 2002.

PIMENTEL, K. e TEIXEIRA, K. Virtual Reality: Throw the New Looking Glass. Nova York, McGraw-Hill, 1995

SILVA, V. “Realidade Virtual: do Sensorama à Carverna Digital” ,2003.