



TRABALHO DE FORMATURA

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA POLITÉCNICA

Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

SÃO PAULO

2001

RICARDO CABRAL DE AZEVEDO

*REALIDADE VIRTUAL NA MINERAÇÃO
APLICAÇÃO PRÁTICA NA SOEICOM*

TRABALHO DE FORMATURA



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA

Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Área: ENGENHARIA DE MINAS

Orientador: PROF. DR. GIORGIO F.C. DE TOMI

SÃO PAULO

2001

TE-2001

Az25r

Synto 1442078

M20016

DEDALUS - Acervo - EPMI



31700005472

Synto 1442078

AGRADECIMENTOS

O autor gostaria de agradecer a valiosa ajuda de seu orientador, Prof. Dr. Giorgio F.C. de Tomi, bem como do Prof. Arlindo José Bazante, da Universidade Federal da Paraíba. Indispensável agradecer, também, a toda a equipe da Cimentos Liz Soecom S. A., Vespasiano, MG, sem a qual este trabalho jamais poderia ter-se realizado, e às Indústrias Votorantim, pelo estímulo oferecido aos estudantes de engenharia de minas.

RESUMO

Este trabalho principia apresentando o tema “Realidade Virtual”, incluindo um breve histórico e exemplos de aplicações. Descreve, em seguida, como este tema está presente na área de mineração e qual a sua importância. Entrando em seu objetivo específico, o texto passa a um estudo da aplicação da realidade virtual na mineração, utilizando como exemplo o planejamento de lavra de uma mina de calcário para cimento (da empresa Liz Soecom, em Vespasiano, Minas Gerais). A apresentação da mina utilizada e a justificativa de sua escolha para esta aplicação, bem como alguns conceitos envolvendo o planejamento de lavra também são apresentados. Verifica-se hoje que uma das maiores dificuldades no planejamento de uma lavra qualquer é manter-se dados precisos e atualizados sempre à disposição dos responsáveis pelo planejamento, para que seja possível se identificar possíveis erros logo no início, bem como se visualizar, com a mesma rapidez, as melhores soluções. Através da simulação de operações básicas, como o transporte de minério das frentes de lavra até a usina, e com o auxílio das mais avançadas ferramentas computacionais disponíveis, pôde-se verificar como essa moderna tecnologia permite que se alcance esses objetivos, permitindo uma previsão bastante favorável quanto ao uso de diversas formas de aplicação de realidade virtual em um futuro próximo, particularmente na área de mineração.

ABSTRACT

This report introduces the subject of "Virtual Reality", including a historical background and examples of its applications. It also describes how this subject may be applied in the mining industry and its potential importance to this industry. The specific objective of the report is a study of the application of the virtual reality in a mining environment, using as an example the quarry planning of a limestone mine (Liz Socicom Quarry, in Vespasiano, Minas Gerais). A brief description of this mine, and the reasons for its use on this study, as well as some concepts about quarry planning are also presented here. It is widely known today that one of the most common difficulties in the planning of any mining operation is to maintain the necessary data always updated and available to the engineer responsible for the planning, so that it will be possible for this engineer to identify possible discrepancies right at the beginning. It also allows the planner to immediately visualize the most appropriate solutions for different quarry situations. Through the simulation of basic operations, as ore transport to the plant, and with the aid of the most advanced tools available, it was verified how this modern technology allows those objectives to be reached, with a quite favorable forecast as for its future use in several applications in the mining industry.

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1: A interface imersiva procura minimizar a barreira entre dados e usuário.....	2
Fig. 2: Exemplo de “mouse” para RV.....	3
Fig. 3: “Joystick” 3D “Gyro Point Desk”	3
Fig. 4: Exemplo de luva para RV.....	4
Fig. 5: Outro exemplo de luva.....	4
Fig. 6: Exemplo de capacete.....	4
Fig. 7: Anel para RV.....	4
Fig. 8: Monitor para RV.....	5
Fig. 9: Óculos 3D “Elsa” utilizados nesse trabalho.....	5
Fig. 10: Modelo topográfico.....	13
Fig. 11: Modelo geológico.....	15
Fig. 12: Equipamento GPS.....	17
Fig. 13: Tela do “Excel” com a planilha vinculada ao “In Touch”.....	18
Fig. 14: “Gammametrics”.....	20

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

LISTA DE FIGURAS

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 A OPÇÃO PELA LIZ SOEICOM.....	8
3 HISTÓRICO DO PROJETO SOEICOM.....	9
3 CONCEITOS BÁSICOS EM PLANEJAMENTO DE LAVRA.....	10
4 APLICAÇÃO DO MÉTODO DE RV NA LIZ SOEICOM.....	12
4.1 A PESQUISA	12
4.2 O ACOMPANHAMENTO.....	12
4.3 A APLICAÇÃO PROPRIAMENTE DITA	13
5 CONCLUSÃO.....	22
ANEXOS.....	23
BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA.....	28

1 Introdução

Quando o termo “Realidade Virtual” – que ao longo do texto será referido, por simplicidade, por “RV” – é citado, é comum imaginar-se cenas futuristas de ficção científica. Não são poucas, entretanto, as aplicações baseadas em métodos e técnicas de realidade virtual disponíveis atualmente. Pode-se encontrar variações delas em diversos campos, como treinamento militar, entretenimento e outros.

O que é realidade virtual? Embora haja muitas definições possíveis, a RV pode ser mais bem compreendida como uma interação, uma interface homem-máquina de tecnologia avançada. Nela se simula um ambiente realístico através da ação sobre os sentidos do usuário (não necessariamente sobre todos, mas principalmente sobre a visão), mas sem necessariamente tentar-se convencê-lo de que ele está em outra realidade, como prevêem algumas outras definições. Esta é a definição adotada neste texto.

Esta tecnologia agrupa meios através dos quais o usuário pode livremente visualizar, explorar, manipular e interagir com dados complexos em tempo real. Assim, os conceitos básicos relacionados à RV são:

- **Imersão** - sensação de estar dentro do ambiente, que pode ser obtida com o uso de capacetes de visualização, óculos 3D ou em salas com projeções nas paredes, teto e piso;
- **Envolvimento** - está ligado ao grau de motivação para o engajamento de uma pessoa com determinada atividade. O envolvimento pode ser passivo, como ler um livro ou assistir televisão, ou ativo, ao participar de um jogo com algum parceiro. A realidade virtual tem potencial para os dois tipos de envolvimento ao permitir a exploração de um ambiente virtual e ao propiciar a interação do usuário com um mundo virtual dinâmico;

- **Interação** - ligada à capacidade do computador em detectar as entradas do usuário e modificar instantaneamente o mundo virtual e as ações sobre ele (capacidade reativa).

Desta forma, em um ambiente sintético tridimensional gerado por computador, pode-se utilizar canais multi-sensoriais para romper, ou pelo menos minimizar, a barreira entre simulação e usuário, normalmente causada pelos mecanismos usuais de operação de computadores. A figura 1, a seguir, ilustra o que foi exposto.

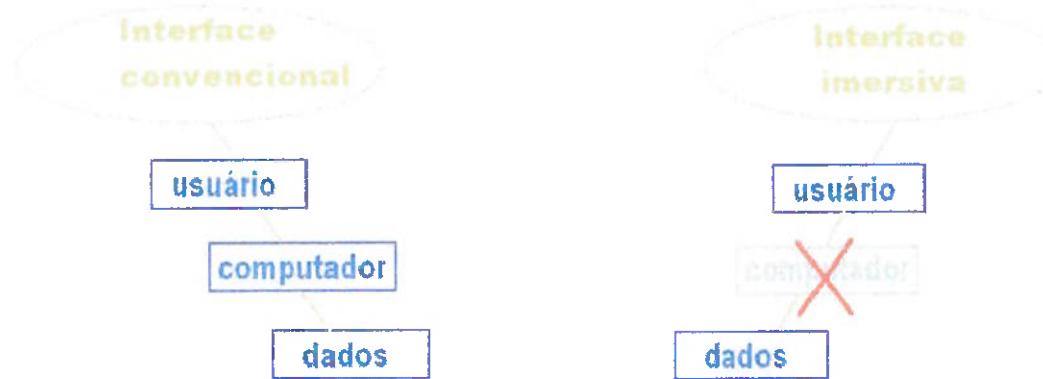


Fig. 1: A interface imersiva procura minimizar a barreira entre dados e usuário.

É importante comentar que, na figura 1 acima, o computador riscado não indica, de modo algum, que este é inexistente ou desnecessário na interface imersiva. O que se quer mostrar é que a presença do computador se torna, de certo modo, “transparente”, ou seja, o usuário lida diretamente com os dados, quase não percebendo a presença física daquele. Existem diversos tipos de equipamentos para facilitar a interface entre computador e usuário, tais como:

- “**Mouses**” especiais para interatividade, que são capazes de tornar o ambiente participativo, seguindo os movimentos executados pelo usuário. A figura 2 ilustra um exemplo de “mouse”.

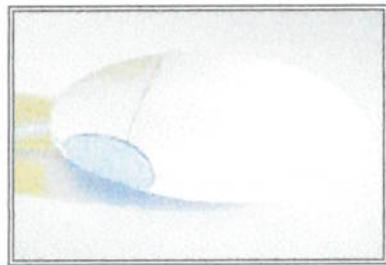


Fig. 2: Exemplo de “mouse” para RV.

- **“Joysticks” 3D**, sendo que alguns podem trabalhar tanto sobre uma mesa como no ar, pois possuem um giroscópio e comunicação por rádio com o computador (figura 3). Outros são capazes de medir a velocidade e a força que estão sendo aplicadas pelo usuário, para que a sensação de imersão seja mais ampliada.



Fig. 3: “Joystick” 3D “Gyro Point Desk”.

- **Luvas** para Realidade Virtual, que são dispositivos para detectar e medir, através de sensores, as flexões e abduções dos dedos. Os sensores podem ser mecânicos, ópticos ou híbridos. As figuras 4 e 5 a seguir mostram dois exemplos de luvas empregadas em simulações sofisticadas.



Fig. 4: Exemplo de luva para RV.



Fig. 5: Outro exemplo de luva.

- **Capacetes** (figura 6), que podem ser estereoscópicos ou monoscópicos (gerando ou não imagens em três dimensões), binoculares ou monoculares (um ou os dois olhos estimulados) e opacos ou translúcidos (substituem ou complementam a realidade objetiva).



Fig. 6: Exemplo de capacete.

- **Anéis** (“Ringmouses”), dispositivos que permitem a localização do usuário através de suas coordenadas 3D (figura 7).



Fig. 7: Anel para RV.

Para as aplicações estudadas neste trabalho, entretanto, foram necessários apenas equipamentos mais simples, como monitores de alta resolução de imagem (figura 8) e óculos 3D (figura 9). Estes óculos funcionam baseados na manipulação de luz polarizada para a geração de imagens em três dimensões.



Fig. 8: Monitor para RV.



Fig. 9: Óculos 3D “Elsa” utilizados nesse trabalho.

As aplicações baseadas na tecnologia de Realidade Virtual surgiram na década de 60, oriundas da necessidade das forças armadas proverem treinamento para seus pilotos. Um ambiente virtual que simulasse situações reais minimizaria fatores de risco e custo ao mesmo tempo em que elevaria os níveis de eficiência no treinamento. Atualmente, a área

militar ainda se utiliza desta tecnologia, cada vez mais aperfeiçoando os níveis de apresentação e interação de suas interfaces.

O avanço das tecnologias de comunicação, informação e informática, todavia, ampliou sua utilização, possibilitando que outros campos do conhecimento também se beneficiassem, como, por exemplo, a educação à distância (esta aplicação ainda é foco de estudos, mas é muito promissora), a área de negócios (através de maquetes virtuais, edificações, decoração de interiores etc.) e a da saúde (através de técnicas para mediar cirurgias em que o cirurgião se encontra espacialmente distante).

Vidas humanas também podem ser protegidas através de treinamentos em ambiente virtual, uma vez que os treinandos somente passam a ter contato com o equipamento real após um período de simulações apropriadas. Riscos de queda de aviões, avarias em tanques e outros equipamentos de custo elevado, podem ser reduzidos. Operações que requerem precisão também podem ser muito facilitadas pelo uso de robôs, manipulados à distância através da RV.

O uso cada vez mais amplo de RV faz com que seus dispositivos possam ser fabricados em quantidades crescentes, o que diminui seus custos e aumenta ainda mais a sua popularização. Na área de mineração a sua utilização ainda é muito restrita, com algumas pesquisas sendo feitas, principalmente, na Inglaterra, nos EUA e na Austrália. Como em outras áreas, também na mineração a tendência desta tecnologia é de crescimento, graças aos avanços científicos e ao conhecimento cada vez melhor das aplicações e de suas possíveis vantagens.

Para quais objetivos serviria um centro de imersão tridimensional com realidade virtual, no campo da mineração? Algumas possibilidades importantes:

- Controlar e comandar uma mina a partir de uma sala;
- Desenvolver e projetar planos a partir de uma sala;
- Revisão conjunta de projetos;

- Centro de apresentações;
- Treinamento.

Este projeto procura analisar os benefícios advindos do uso de tecnologia de realidade virtual através de sua aplicação no planejamento de lavra. Destarte, procurar-se-á apresentar aqui os resultados colhidos com base na aplicação de RV na mina da Liz Soecom, aplicação esta inserida no contexto do Projeto Soecom, que será descrito mais adiante.

2 A opção pela Liz Soeicom

A Liz Soeicom S. A. - Sociedade de Empreendimentos Industriais, Comerciais e Mineração S.A., é uma empresa de capital português, do setor de mineração, que produz argila e calcário para cimento. Está localizada em Vespasiano, Minas Gerais, possui vinte e nove funcionários e produz 1,5 milhões de toneladas de minério por ano.

A escolha da mina da Liz Soeicom para a aplicação desta metodologia deveu-se a uma ampla possibilidade lá existente de pesquisas nessa área, visto ser uma mina que dispõe de ferramentas modernas para o auxílio do planejamento, como "softwares" avançados, e um eficiente amostrador de minério. As vantagens de se usar RV para transmitir informações com rapidez e clareza dependem da clareza e da rapidez com que estas informações podem ser geradas, e os recursos disponíveis na Liz Soeicom são muito favoráveis nesse aspecto. Além disso, esta empresa apresentava uma vantagem adicional, residente no fato de haver uma parceria entre ela e o LAPOL, Laboratório de Planejamento e Otimização de Lavra do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Esta parceria resultou no Projeto Soeicom (o nome Soeicom, em vez de Liz Soeicom, é adotado por ser este o nome pelo qual a mina é mais frequentemente referida), que envolveu diversos pesquisadores, dentre eles o autor deste trabalho, e procurou proporcionar uma solução efetiva para o sequenciamento de longo prazo em minas de calcário para cimento.

3 Histórico do Projeto Soecom

O projeto previa a pesquisa e o desenvolvimento de uma metodologia específica para otimizar a cava final e a programação de lavra de jazidas, de modo a permitir o máximo aproveitamento do depósito, garantir o apropriado planejamento de impacto ambiental, bem como a qualidade de produção de matérias-primas para a fabricação de cimento, através da definição antecipada dos limites precisos das fases de lavra e da cava final. A parte específica do trabalho onde este autor participou mais de perto, como bolsista de iniciação científica, contemplou exatamente a aplicação prática dessa metodologia na Liz Soecom. O projeto visou, basicamente, à definição da função benefício do empreendimento, à definição dos objetivos de produção da empresa, incluindo qualidade e restrições, à revisão dos modelos geológicos e geotécnicos, à otimização de cava e ao sequenciamento de lavra, bem como a uma adequada compilação dos resultados. Foi a partir daí que se desenvolveu a idéia de se aplicar uma tecnologia de RV no modelo de planejamento elaborado.

3 Conceitos básicos em planejamento de lavra

Os conceitos mostrados a seguir ilustram os requisitos técnicos e econômicos utilizados, não só nesta mina, mas em qualquer projeto de planejamento de lavra, e foram fundamentais para os trabalhos de execução do modelo virtual:

1. Planejamento de lavra é uma atividade que está associada à produção de matérias primas minerais. Portanto, o planejamento de lavra pode e deve ser executado sobre um modelo adequado da jazida, com a devida análise de reservas e recursos. Isto inclui georeferenciamento, definição de volumes, qualidades e quantidades.
2. As principais variáveis de controle de lavra devem ser analisadas e ter sua relevância associada ao planejamento de lavra. Isso vai determinar eventuais objetivos de produção (quantidades e qualidades) dentro de cada horizonte de planejamento.
3. Os horizontes de planejamento devem ser definidos de forma adequada aos objetivos do projeto. As informações utilizadas devem ser relacionadas a cada horizonte de trabalho; não interessa manter-se um modelo geológico de detalhe para um exercício de viabilidade de lavra em longo prazo. Por outro lado, não é possível executar-se um planejamento de curto prazo num modelo de longo prazo, onde os detalhes operacionais não estejam representados.
4. Os dados normalmente utilizados em planejamento são:
 - Informações de topografia e morfologia do terreno;
 - Informações geométricas da cava e seus acessos (taludes, gradientes, larguras, alturas);
 - Informações geológicas (modelo geológico) com volumes, quantidades e qualidades representadas conforme o horizonte de planejamento;

- Informações econômicas (custos operacionais, investimentos para a lavra, valores associados aos produtos);
- Objetivos de produção (volumes, quantidades e qualidades para cada período de planejamento).

5. Os resultados de planejamento são normalmente tabelas de dados acompanhadas por mapas, planos e seções representando o avanço de lavra previsto para cada período.

6. Os resultados do planejamento de lavra podem ser usados para controle de operação, mas são extremamente úteis também para fins de licenciamento e controle ambiental.

7. Uma etapa essencial no planejamento de lavra é a reconciliação de resultados. Esta etapa contempla a comparação de quantidades e qualidades para:

- PLANEJADO x REALIZADO;
- PLANEJADO x NÃO-REALIZADO;
- NÃO-PLANEJADO x REALIZADO.

Note-se que o planejamento de lavra é uma atividade com natureza dinâmica e cíclica. Somente com a repetição e a contínua análise de resultados é que se pode alcançar o aprimoramento adequado de sua execução.

4 Aplicação do método de RV na Liz Soecom

4.1 A pesquisa

Antes de se aplicar o método, foi necessário proceder-se a uma ampla pesquisa sobre realidade virtual. A dificuldade maior, nesta etapa, foi obter-se informações específicas sobre a aplicação de RV na mineração, visto ser esta uma área ainda pouco explorada, especialmente no Brasil. Boa parte da pesquisa foi feita através da Internet, em virtude de se tratar de uma fonte bastante atualizada nesse campo, e por intermédio de trabalhos de graduação e de pós-graduação sobre o assunto, alguns ainda em andamento. Também foram consultadas pessoas que trabalham com o assunto, em empresas ou em pesquisas acadêmicas. Cabe observar que muito do conhecimento necessário foi obtido a partir do próprio manuseio dos óculos 3D e de programas de computador específicos para RV, como o “In Touch” (principal programa utilizado) e o “VRML”. Para compreender mais a fundo o funcionamento e a natureza destas ferramentas, muitas vezes foi necessário efetuar-se contatos com profissionais envolvidos com elas, o que propiciou uma boa ampliação dos conhecimentos em RV.

4.2 O acompanhamento

O passo seguinte foi acompanhar-se de perto todo o processo de operação que seria objeto da implantação do método na mina, particularmente o movimento dos caminhões. Isto foi necessário para que através desse acompanhamento fosse possível identificar com clareza quais seriam os pontos mais críticos, os mais susceptíveis à nova tecnologia e qual a melhor forma de implementá-la. Para tanto, levou-se em conta o desempenho orgânico como um todo, ou seja, procurou-se ter em mente quais impactos cada mudança estudada poderia provocar em todas as operações direta ou indiretamente associadas. A cada dia eram observados e medidos os trajetos dos caminhões, bem como suas velocidades. Esta fase do projeto foi facilitada pelo fato de o autor já haver trabalhado no Projeto Soecom, mencionado anteriormente, e, portanto, já possuir certo conhecimento sobre as operações em estudo.

4.3 A aplicação propriamente dita

Foi necessário, a princípio, obter-se, junto à Soecom, o modelo topográfico digital tridimensional (figura 10), que é um arquivo contendo todos os dados topográficos relevantes da região em estudo, referente à jazida e à área de concessão de lavra. A posição, em coordenadas cartesianas, de cada ponto da superfície da região, incluindo cavas, estradas, benfeitorias, rios, aspectos fisiográficos etc., compõe um modelo desse tipo. Trata-se de uma representação simplificada da realidade e, dessa forma, o nível de detalhamento do mesmo é estabelecido em função dos objetivos a serem alcançados. Se a idéia fosse obter-se a visualização mais perfeita possível, o arquivo ficaria demasiadamente grande e difícil de ser manipulado, com uma inerente lentidão em seu processamento, o que exigiria processadores mais poderosos e maior capacidade de armazenamento de dados, o que se traduziria em custos mais elevados. Há, portanto, um compromisso entre a qualidade da imagem obtida e a sua viabilidade.

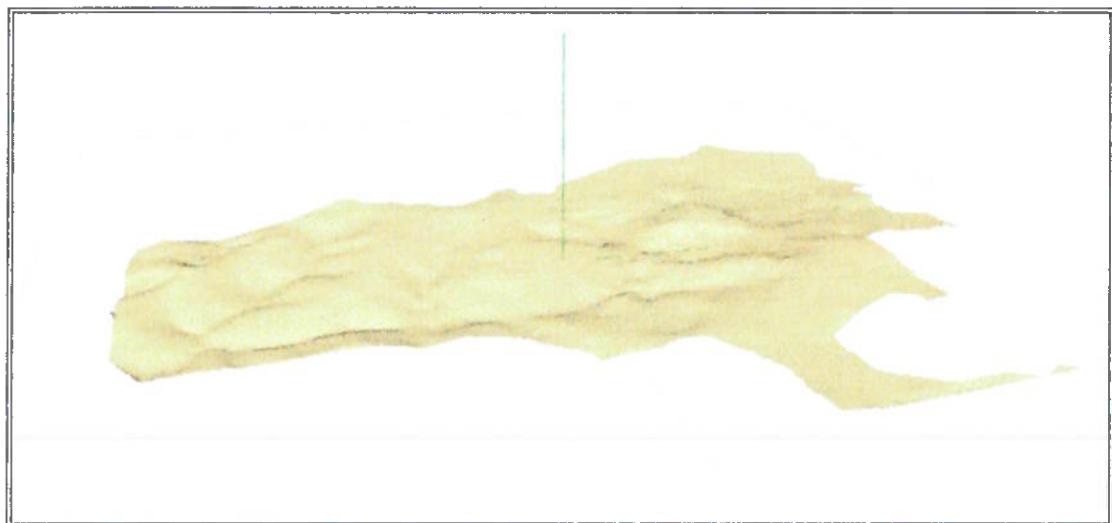


Fig. 10: Modelo topográfico.

O objetivo desta tecnologia, nesse caso, é facilitar a visualização de um certo local e das informações concernentes ao mesmo, e não provocar em alguém a sensação de estar

presente naquele espaço criado digitalmente. Portanto, a qualidade da imagem obtida foi apenas a julgada necessária, evitando-se custos excessivos. Este arquivo, construído através de “softwares” específicos, permite visualizar-se as características topográficas da área de lavra e das proximidades por qualquer ângulo, bastando-se mover o modelo, com o “mouse”, em qualquer direção. Como essa superfície está em constante alteração, principalmente provocada pela própria lavra, é interessante que ela seja atualizada frequentemente. Isso pode ser feito automaticamente, através do próprio “software”, via previsão de evolução da lavra ou comunicação de dados com o setor operacional da mina. Assim, se for enviada ao sistema uma informação, proveniente de uma frente de lavra, de que um determinado bloco foi desmontado, este poderá simplesmente ser retirado também do modelo.

Para uma melhor definição de imagem, foi necessário, ainda, utilizar-se fotos aéreas da região, que foram comparadas com os modelos digitais para inserção de cores, texturas etc.

Além disso, era necessário haver um modelo geológico representando a jazida da mina (figura 11), que foi fornecido pela equipe de planejamento da empresa. Um modelo como este é obtido a partir de dados de sondagem e do modelo topográfico da região – através do uso de um “software” específico, o “Datamine”. O modelo utilizado, representado por um conjunto de arquivos, contém dados sobre a posição de cada trecho da jazida, dividida em blocos de tamanho conveniente, seu respectivo teor e outras informações julgadas necessárias, como módulo de sílica, módulo de alumina, densidade etc. Através do mesmo “software”, foi possível visualizar-se essa jazida de qualquer ponto de vista. É preciso deixar-se claro, entretanto, que estes dois modelos (topográfico e geológico), embora possam ser manipulados em qualquer direção, não podem ser considerados objetos de realidade virtual, pois ainda não permitem uma imersão do usuário. Para essa imersão seria necessário, ao menos, haver-se uma visualização estereográfica desses modelos.

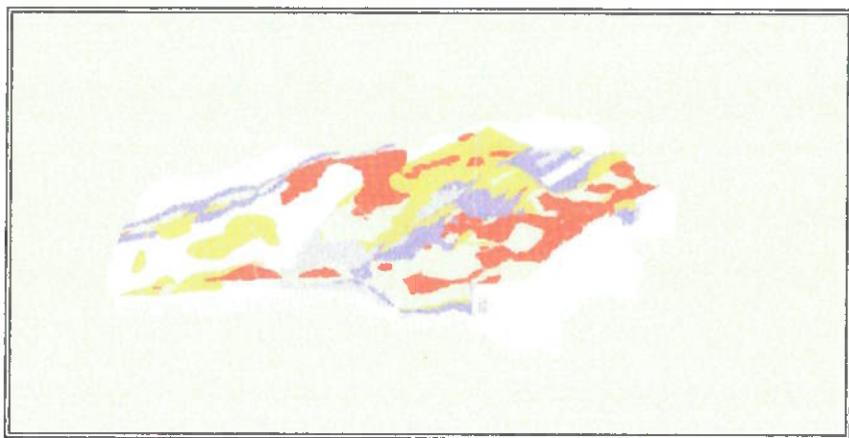


Fig. 11: Modelo geológico.

Unindo-se todas essas informações e fornecendo-se as mesmas a um “software” específico – nesse caso o “In Touch” – este processou essas imagens e gerou um modelo de imersão em realidade virtual, ou seja, ao manipular-se os modelos topográficos e geológicos, passou-se a visualizá-los com muito mais realismo, devido à qualidade das imagens geradas e ao efeito estereográfico criado. Para se completar este modelo de navegação em RV, adicionou-se objetos digitais, como caminhões, perfuratrizes, árvores, casas etc. Muitos destes objetos já existiam na biblioteca do programa. Outros puderam ser criados em editores gráficos e, a seguir, serem importados pelo “In Touch”. A inserção desses objetos visou fazer com que o modelo final ficasse bem parecido com a mina real, dentro dos limites de qualidade da imagem já discutidos anteriormente. Alguns desses objetos são inanimados, enquanto outros podem mover-se livremente, como veículos percorrendo uma rampa em direção a uma frente de lavra, por exemplo. Estes, inclusive, podem ser “dirigidos”, como se fossem parte de um “vídeo game”, com o usuário podendo escolher um ponto de vista interno ao veículo ou externo.

Visando-se uma visualização mais realista, com a imersão característica da RV, foram utilizados óculos 3D, que permitem a geração de imagens tridimensionais. Para criar esse efeito, o programa primeiramente gera duas imagens simultâneas, um pouco deslocadas entre si, simulando os dois pontos de vista que obtemos de nossos olhos. Essas

duas imagens são “piscadas”, alternadamente, na tela de um monitor ou em uma tela de projeção apropriada (do tipo “silverscreen” ou “não despolarizante”). Desta forma, chega aos olhos do usuário ora uma imagem, ora a outra. Os óculos, então, bloqueiam a visão, ora do olho esquerdo, ora do direito, perfeitamente sincronizados com a alternância das imagens geradas. Assim, cada olho verá um ponto de vista diferente, criando o efeito tridimensional.

Cada caminhão digital, neste modelo, corresponde a um caminhão real, na mina. Ao invés de ser guiado por um usuário, em frente à tela de um computador, fez-se com que ele pudesse ser comandado por informações fornecidas periodicamente que, no escopo dessa simulação, eram inseridas diretamente no microcomputador onde foi criado o modelo. Isto foi feito desenhando-se uma linha (“string”) sobre o caminho a ser percorrido e anexando-se um caminhão virtual a esse percurso desenhado. Para cada percurso são fornecidos ao sistema o sentido do movimento do veículo, sua velocidade, sua posição inicial, as posições de cada parada e o tempo em que permanecerá parado.

Após a implantação completa desta tecnologia, essas informações sobre o movimento dos caminhões poderão ser transmitidas por um sistema GPS (sistema de posicionamento por satélite) ou por rádio, a partir de cada caminhão verdadeiro, para o modelo digital. Os equipamentos necessários à utilização do GPS estão se tornando cada vez mais baratos e precisos, mas ainda são considerados caros para aplicação imediata em planejamento de lavra. Chegou-se a fazer uma experiência envolvendo o uso do GPS, conforme mostra a figura 12 a seguir. Os testes, entretanto, ainda precisarão ser mais detalhados antes da implantação desse recurso. Ao comparar-se o movimento do caminhão virtual com o que foi pré-estabelecido para ele, ter-se-á uma indicação de como a operação está cumprindo o que foi planejado (se os caminhões estão respeitando a velocidade recomendada, se estão transportando a quantidade adequada de minério, se estão percorrendo o trajeto pré-estabelecido, se estão permanecendo parados pelo tempo correto etc.).



Fig. 12: Equipamento GPS.

O programa permite, ainda, que se vincule a cada objeto arquivos contendo, por exemplo, planilhas com informações relevantes. Desta forma, foram criadas planilhas de manutenção, com o “software” Excel, contendo informações sobre:

- Horas trabalhadas;
- Horas paradas;
- Horas em “stand-by”;
- Tempo de espera;
- Data da próxima parada;
- Nome do operador;
- Outros.

Ao “clicar-se” com o “mouse” do computador sobre cada caminhão do modelo digital, abre-se automaticamente um arquivo com as informações acima sobre o correspondente caminhão real. Os dados utilizados nessas planilhas são hipotéticos.

servindo apenas como exemplo. A figura 13, a seguir, mostra a tela que aparecerá diante do usuário.

1 PLANILHA DE MANUTENÇÃO: CAMINHÃO 1	
3 Horas trabalhadas	5400
4 Horas paradas	230
5 Horas Stand-by	53
6 Espera	10
7 Próxima Parada	15/12/2001
8 Operador	Mario Garcia
9 Outros	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	

Fig. 13: Tela do “Excel” com a planilha vinculada ao “In Touch”.

Poder-se-á, ainda, em uma etapa posterior, aliar-se a isso uma comunicação eficiente, via internet, através de uma conexão segura, o que poderá ser possível investindo-se em tecnologia da informação (intranet, dados criptografados etc.). Por este meio, o acompanhamento da operação da mina poderá ser feito de qualquer parte do mundo. Esta comunicação, obviamente, poderá ocorrer nos dois sentidos, isto é, um engenheiro de planejamento, ao obter as informações que deseja, pode imediatamente fazer correções no próprio modelo e enviá-las, por exemplo, diretamente para o operador de um determinado caminhão.

Para que esta simulação ficasse o mais próximo possível da realidade, também foi importante aplicar-se, no modelo, todas as condições econômicas exigidas nas operações de lavra, conforme já analisado no item **“Conceitos básicos em planejamento de lavra”**.

assim como todas as restrições existentes no processo, como as condições geotécnicas do maciço. O sistema, assim, auxilia o usuário a evitar erros, pois este não poderá enviar instruções que provoquem uma violação nessas restrições.

As informações, a seguir, sobre o processo operacional, foram essenciais para a movimentação dos caminhões virtuais:

- Movimento de caminhões, de máquinas perfuratrizes, escavadoras etc.;
- Material produzido, com as quantidades movimentadas em cada etapa do processo, como nas frentes de lavra, em cada caminhão, na alimentação do britador primário etc.;
- Teores e características do minério em cada ponto do processo.

Todas essas informações foram obtidas do planejamento de lavra da mina. O movimento dos caminhões também pôde ser obtido observando-se as estradas e as posições das frentes de lavra, britador primário etc., o que permitiu a verificação dos caminhos ótimos. A operação também era observada diariamente, e as informações assim obtidas eram informadas ao sistema, para comparação com o movimento previsto no planejamento.

A partir desse ponto, a idéia foi colocar todos esses dados disponíveis, em tempo real, em um microcomputador de um centro de controle, fora da mina. Assim, foi possível, através do modelo digital criado, saber se tudo estava ocorrendo conforme o planejado, na mina. Quando necessário, o sistema permitiu, com uma grande rapidez, corrigir o que estava errado.

É justamente nessa agilidade que reside um dos maiores méritos da realidade virtual, pois quanto mais perfeita for a visualização do que está ocorrendo na mina, mais fácil será detectar possíveis problemas, mesmo os mais sutis, dessa forma permitindo-se um funcionamento bem mais estável do processo.

Pelo exposto acima, percebe-se que quanto maior for a velocidade com que forem feitas as atualizações nos modelos, maiores serão as vantagens advindas.

Na Liz Soecom existe um amostrador, o “Gammametrics”, que pode ser visto na figura 14. Ele colhe amostras instantâneas do minério, o que permite conferir se tudo está saindo conforme o planejado ou se é necessário fazer alterações. Isto representa, portanto, uma nova possibilidade de interação virtual.



Fig. 14: “Gammametrics”.

Resumo das informações utilizadas para a geração do modelo (todas fornecidas diretamente pela empresa):

- Modelo topográfico;
- Características geotécnicas;
- Modelo geológico;
- Restrições econômicas;

- Restrições ambientais;
- Restrições legais;
- Planejamento operacional.

O resultado é o modelo virtual da mina, criado pelo “software” específico a partir dos dados acima. Uma visualização imersiva foi feita, em primeira aproximação, com óculos 3D, que funcionam conforme descrito anteriormente. Futuramente, esta poderá ser feita com capacetes ou outros meios mais sofisticados de recriação da realidade.

Nos anexos são apresentadas algumas figuras que, embora relevantes, não foram inseridas ao longo do texto para evitar-se a interrupção de sua sequência lógica. As duas primeiras figuras são interessantes para se comparar uma foto da mina com uma imagem digital da mesma, que é a imagem vista através da simulação em RV, exceto pelo fato de, na simulação, a imagem ser visualizada em três dimensões.

5 Conclusão

Partindo-se de definições básicas sobre RV, suas aplicações, evolução histórica e importância, procurou-se relacioná-las com a mineração para, em seguida, se apresentar, como aplicação prática, o exemplo da Liz Soecom. Espera-se que este trabalho tenha cumprido adequadamente seus objetivos, não apenas mostrando resultados satisfatórios, mas discutindo novas possibilidades para o uso da realidade virtual na mineração.

O exemplo abordado aqui se restringe ao planejamento de lavra. Com a experiência advinda deste trabalho, entretanto, pôde-se vislumbrar diversas outras aplicações viáveis na indústria mineira, como:

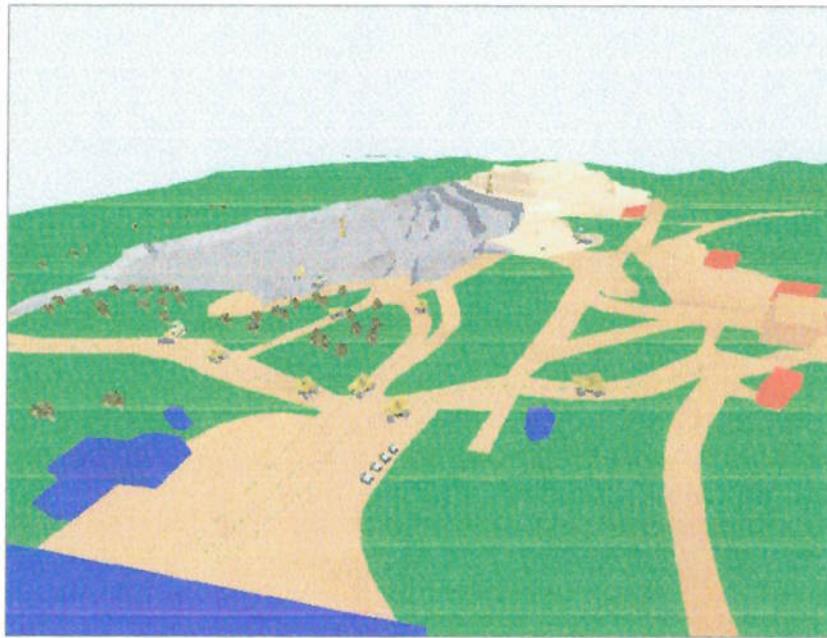
- Na modelagem da planta;
- No estudo de impactos ambientais e recuperação de áreas degradadas;
- Na análise de riscos em higiene e segurança do trabalho;
- Em treinamento.

Os principais benefícios associados a estas aplicações são:

- Permite integração de informação na mina em tempo real;
- Permite informação instantânea da produção;
- Pode ajudar a diminuir custos através da tomada rápida de decisão;
- Aprimora o controle da qualidade pela correção instantânea de desvios;
- Ajuda a prevenir acidentes e minimizar impactos ambientais.

Finalizando, é importante acrescentar que o caminho para a popularização dessa tecnologia já começou a ser trilhado, em diversas partes do mundo e em diversas áreas. Ao que parece, ela tem potencial para promover um grande avanço na produtividade das minas atuais e até viabilizar novos projetos, já que permite uma significativa redução de custos, devido à facilidade de se visualizar problemas e soluções que se consegue.

ANEXOS



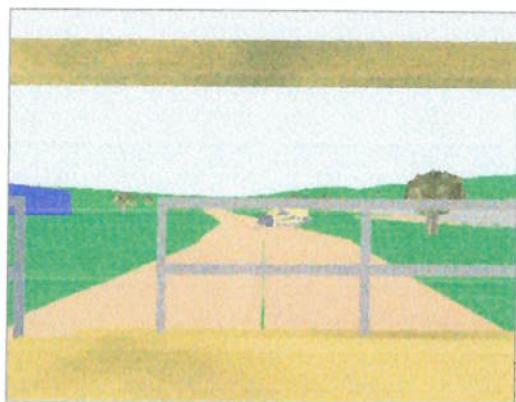
Vista geral da mina Socicom (virtual).



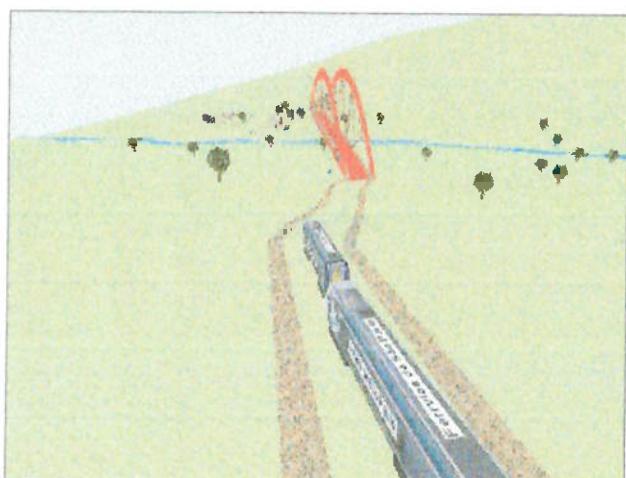
Vista geral da mina Soeicom (real).



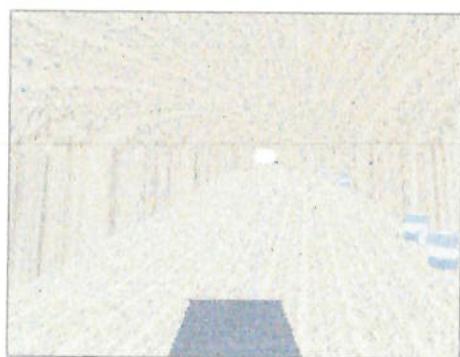
Detalhe da vista geral acima.



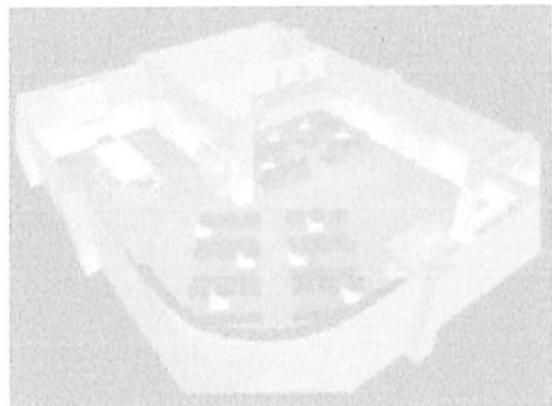
Vista interna de um trator.



Trem virtual (apenas como exemplo; não foi utilizado no modelo final).



Vista interna de um túnel (apenas como exemplo; não foi utilizado no modelo final).



Modelo de sala de mina virtual.

Bibliografia Recomendada

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA E MATERIAIS. Realidade virtual no setor automobilístico. São Paulo: ABM News, Assessoria de Comunicação Social – Últimas Notícias, 7 jun. 2000. Disponível em: <http://207.201.172.105/news-abm/arquivo/realidade_virtual.html>. Acesso em: 10 nov. 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6023: Informação e documentação – Referências – Elaboração. Rio de Janeiro, 2000.

BAZANTE, A. J. A Interação entre o planejamento, a produção e o controle de qualidade no gerenciamento de mina de calcário para cimento. 12 f. Proposta de Pesquisa – Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

BATTAIOLA, A.L. Porte de um Algoritmo Vetorizado dos Cubos Marchantes para uma Ambiente de Processamento Paralelo, Anais do XXIII SEMISH, Recife, PE, Ago. de 1996, p. 357-368.

CUNHA, G. G.; SANTOS, C. L. Virtual Reality Modelling Language. Grupo de Realidade Virtual Aplicada (GRVa), Laboratório de Métodos Computacionais em Engenharia (LAMCE), Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ), Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.ensp.fiocruz.br/sde/>>. Acesso em: 9 ago. 2001.

DE TOMI, G. F. C.; AZEVEDO, R. C.; CHAUSSON, D. Planejamento e sequenciamento de lavra. In: Congresso de Mina a Céu Aberto do IBRAM, Belo Horizonte, set. 2000.

DERIGGI, F. et al. **Ambientes Virtuais Distribuídos Interoperáveis**, Proceedings. XXIV Conferência Latino-americana de Informática - CLEI'98, Quito, Equador, Out. 1998.

DERIGGI, F. et al. **A Utilização da Plataforma CORBA como Suporte para Aplicações Distribuídas**, Anais do I Workshop de Realidade Virtual - WRV97, UFSCar, São Carlos, SP, nov. 1997, p. 1-10.

DIZERÓ, W.J.; VINCENTIN, V.J.; KIRNER, C. **Professor Virtual: A Realidade Virtual como Suporte ao Ensino à Distância**, Anais do VI Workshop de Ensino em Informática, Belo Horizonte, Ago. 1998.

GIMENEZ, A.M.; T.G. KIRNER. **Ferramenta para Simulação de Sistemas de Tempo Real Usando Realidade Virtual**, 1º Workshop de Realidade Virtual - WRV'97, São Carlos, SP, Nov. 1997, p. 71-80.

IPÓLITO, J.; KIRNER, C. **Técnicas de Otimização e Realismo em Aplicações de Realidade Virtual**, Anais do I Workshop de Realidade Virtual - WRV97, UFSCar, São Carlos, SP, nov. 1997, pp. 91-100.

KUBO, M.M. et al. **Múltiplas Visões em um Ambiente Virtual Multusuário**, Anais do I Workshop de Realidade Virtual - WRV97, UFSCar, São Carlos - SP, nov. 1997, p. 62-70.

LABORATÓRIO DE PLANEJAMENTO E OTIMIZAÇÃO DE LAVRA – LAPOL.
Objetivos e atuação. Instalações, Engenharia de Minas, São Paulo. Disponível em:
<<http://www.poli.usp.br/pmi/images/labs/lapol.htm>>. Acesso em: 10 nov. 2001.

MARTINS, V.F.; T.G. KIRNER. **Processo de Desenvolvimento de Aplicações de Realidade Virtual: definição e um Estudo de Caso**, 1º Workshop de Realidade Virtual - WRV'97, São Carlos, SP, Nov. 1997, p. 119-129.

MARTINS, V.F.; KIRNER, T.G. **Processos e Técnicas de Engenharia de Software para Aplicações de Realidade Virtual**, III Workshop de Teses em Engenharia de Software, Maringá, PR, Out. 1998, p. 43-46.

NUPERC. **Redes de Alto Desempenho**. Linhas de Pesquisa do Núcleo de Pesquisa Interdepartamental em Redes de Computadores. Salvador, out. 2001. Disponível em: <<http://www.nuperc.unifacs.br/linhas.html>>. Acesso em: 18 out. 2001.

PERUZZA, A.P.P.M.; NAKAMURA, E.Y.; KIRNER, C. **Solução do Problema de Detecção de Colisão em Ambientes de Realidade Virtual**, Anais do I Workshop de Realidade Virtual - WRV97, UFSCar, São Carlos, SP, nov. 1997, p. 36-43.

SANTOS, S.G. et al. **Multiple Views in a Multiuser Virtual Environment as Support for CSCW**, Anais do Simpósio Brasileiro de Multimídia - SBMIDIA'98, Rio de Janeiro, Maio 1998, p. 65-73.

SCHNEIDER, B.O.; KIRNER, C. **Controle de Objetos Deformáveis em Ambientes Virtuais**, Anais do I Workshop de Realidade Virtual - WRV97, UFSCar, São Carlos - SP, nov. 1997, p. 44-51.

SENHORINHO, N. C. S. **Otimização de cavas em mina de calcário para cimento**, 2001. 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Faculdade de Engenharia de Minas, EPUSP, São Paulo.

SGI. **Visualization systems**. SGI Reality Center. Mountain View, CA. U.S.A. Disponível em: <<http://www.sgi.com/realitycenter/>>. Acesso em: 10 nov. 2001.

UNIREDE. **UFRN inaugura laboratório de realidade virtual com tecnologia de ponta**. São Paulo: Informe UniRede, Ano 0, nº10, 11 abr. 2001. Disponível em: <<http://www.unirede.br/infouni10.html#3>>. Acesso em: 9 ago. 2001.